



TUGAS AKHIR - RE 141581

Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri

Valencia Safir Maharani
3313100045

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RE 141581

Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri

Valencia Safir Maharani
3313100045

Dosen Pembimbing
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - RE 141581

A Review of Oil and Grease Treatment in Industrial Wastewater

Valencia Safir Maharani
3313100045

Supervisor
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., PhD.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI LITERATUR: PENGOLAHAN MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI

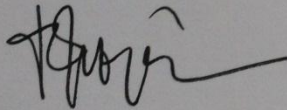
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

VALENCIA SAFIR MAHARANI
NRP 3313 100 045

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D
NIP. 19710818 199703 2 001

SURABAYA
JULI 2017



Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri

Nama Mahasiswa : Valencia Safir Maharani
NRP : 3313100045
Jurusan : Teknik Lingkungan FTSP ITS
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D

ABSTRAK

Perindustrian Indonesia semakin berkembang pesat seiring dengan perkembangan jaman. Hal tersebut dapat dilihat dengan bertambahnya jumlah kawasan Industri yang tersebar di Indonesia. Pertumbuhan jumlah kawasan industri berbanding lurus dengan peningkatan hasil limbah industri. Limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan agar tidak mencemari lingkungan.

Limbah industri adalah seluruh sisa hasil proses produksi yang sudah tidak dapat dimanfaatkan atau digunakan kembali karena tidak memiliki nilai jual. Limbah industri dapat berbentuk padat, cair, dan gas. Pada limbah industri terdapat berbagai parameter, yaitu parameter organik dan anorganik. Salah satu contoh parameter organik adalah minyak dan lemak. Minyak dan lemak yang terkandung dalam limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Namun, pada beberapa efluen limbah industri masih terdapat konsentrasi minyak dan lemak yang melebihi baku mutu. Kondisi badan air juga banyak yang tercemar oleh minyak dan lemak. Pengolahan minyak dan lemak dapat dilakukan dengan menggunakan pengolahan secara fisik, kimiawi maupun biologis. Pada kajian pustaka ini akan dibahas mengenai pengolahan minyak dan lemak dalam limbah industri secara fisik, kimiawi dan biologis. Faktor utama yang menentukan jenis pengolahan limbah industri adalah karakteristik minyak dan lemak yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian pustaka agar memudahkan dalam menentukan jenis pengolahan minyak dan lemak yang ideal.

Kajian pustaka ini memberikan informasi mengenai jenis industri yang menghasilkan minyak dan lemak dalam limbahnya, karakteristik minyak dan lemak yang dihasilkan, dan jenis pengolahan minyak dan lemak yang ideal. Kajian pustaka

bersumber dari jurnal, buku maupun artikel dalam jangka waktu diusahaka selama 5-10 tahun terakhir. Jumlah pustaka yang akan digunakan minimal 30 buah. Hasil dari kajian pustaka akan disajikan dalam bentuk tabel dan/atau matriks untuk merepresentasikan informasi yang telah dirangkum sehingga memudahkan pembaca memahaminya. Hasil studi konfigurasi sistem pengolahan minyak dan lemak yang ideal dapat berupa fisik-kimia, fisik biologis dan biologis-kimia. Konfigurasi sistem pengolahan fisik-biologis mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai dari 20 mg/l hingga 21600 mg/l, konfigurasi sistem pengolahan kimia-biologis mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai hingga 2680 mg/l, sedangkan konfigurasi sistem pengolahan fisik-kimia mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai dari 26 mg/l hingga 15000 mg/l. Studi kasus yang digunakan untuk merepresentasikan metode penentuan jenis pengolahan minyak dan lemak yang ideal. Studi kasus pada kajian pustaka ini berasal dari data sekunder salah satu industri yang menghasilkan minyak dan lemak dalam limbahnya. Ketiga studi kasus membutuhkan konfigurasi pengolahan fisik-biologis.

Kata kunci: limbah industri, minyak dan lemak, pengolahan biologis, pengolahan fisik dan pengolahan kimia

A Review of Oil and Grease Treatment in Industrial Wastewater

Name of student : Valencia Safir Maharani
NRP : 3313100045
Study Programme : Teknik Lingkungan FTSP ITS
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST, MT, Ph.D

ABSTRACT

Nowadays, Indonesia's industry is growing rapidly due to the increase amount of industrial sector in many area in Indonesia. The increase is directly proportional to the increase of industrial wastewater. Industrial wastewater contains harmful pollutant that can be dangerous for human or the environment itself. Pollution caused by oil and grease are endangering aquatic resources that affect drinking water and groundwater resources, endangering human health and destructing the natural landscape. To reduce the enviromental pollution specially in the river, there must be a treatment for it. There are three types of industrial wastewater, solid, liquid and gaseous.

There are two types of parameters in industrial wastewater, organic parameter and inorganic parameter. Oil and grease are the examples of organic parameter. Complexity of oil and grease component need more attention to reduce it. However, in some industry effluent still contains oil and grease that exceed the quality standard. Treatment of oily wastewater can be divided into three methods namely physical, biological and chemical treatment. To identify the ideal treatmet for oily wastewater, the main factor is the characterization of oil and grease.

In this review, the development status of treatment methods was summarized from journal article, book, proceeding conference, and regulation within 5-10 years at least. This review contains information about industry that have oil and grease inside the wastewater, the charcterization of oil and grease and the ideal treatment for oil and grease. The minimum amount of literature used in this reviews are 30. The final result will be represnted in table so that the readers can easily understand it. A case study in this review will be used as secondary data. An industry used for case study is industry that produce oil and grease inside the

wastewater. Finally, the development and prospect of treating oil and grease wastewater was predicted.

Keywords: biological treatment, chemical treatment, industrial wastewater, oil and grease, and physical treatment

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya penyusunan tugas akhir yang berjudul **“Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri”** dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing atas segala ilmu dan bimbingannya dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M.ScEs., Ibu Ipung Fitri Purwanti, ST., MT., Ph.D, Bapak Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE, MSc., Ph.D dan Ibu Harmin Sulistyaning Titah ST., MT., Ph.D, selaku dosen penguji atas segala saran dan masukan dalam penyusunan laporan ini.
3. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan moral maupun materil kepada saya.
4. Sahabat-sahabat saya yang selalu setia memberikan semangat, motivasi, dan hiburan yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.
5. Teman-teman angkatan 2013 yang secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Laporan ini telah disusun dengan sebaik mungkin. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang berguna bagi pembaca dan penyusun.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Studi.....	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat Studi.....	3
BAB 2 METODE STUDI	5
2.1 Umum	5
2.2 Kerangka Studi	5
2.3 Ide Studi.....	7
2.4 Tujuan.....	7
2.5 Pengumpulan Data	7
2.6 Hasil Studi.....	8
BAB 3 MINYAK DAN LEMAK.....	9
3.1 Minyak dan Lemak	9
3.2 Klasifikasi Minyak dan Lemak	11
3.2.1 Minyak dan lemak berdasarkan sumber	11

3.2.2	Minyak dan lemak berdasarkan kegunaannya	13
3.3	Industri Penghasil Limbah Minyak dan Lemak	13
BAB 4 PENGOLAHAN MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI.....		19
4.1	Pengolahan Fisik	19
4.1.1	<i>Grease Trap</i>	19
4.1.2	Adsorpsi	22
4.1.3	Flotasi	23
4.1.4	Teknologi Membran	27
4.1.5	Multi Soil Layering (MSL).....	34
4.2	Pengolahan Biologis	35
4.2.1	Bioreaktor Hibrid Anaerob	35
4.2.2	Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR)	36
4.2.3	<i>Microbial Isolates</i>	37
4.2.4	<i>Biological Aerated Filter</i>	40
4.2.5	<i>Anaerobic Co-Digestion</i>	41
4.2.6	Mikrokosmos.....	41
4.3	Pengolahan Kimia.....	42
BAB 5 STUDI KASUS		55
5.1	Industri Rumah Makan.....	55
5.2	Industri Penyulingan Pelumas Bekas	58
5.3	Industri Automobile	60
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		63
6.1	Kesimpulan	63
6.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kerangka Studi.....	6
Gambar 3.1 Struktur <i>Squalene</i>	15
Gambar 3.5 Struktur <i>Carotenes</i>	15
Gambar 3.3 <i>Paraffins</i>	16
Gambar 3.4 <i>Naphthenes</i>	16
Gambar 3.5 <i>Aromatics</i>	17
Gambar 4.1 Struktur <i>Grease ECO</i>	20
Gambar 4.2 Skema Diagram Fat Oil Grease-Trap	21
Gambar 4.3 Skema Diagram Unit DAF	24
Gambar 4.4 Diagram Proses Flotasi dengan IAF	25
Gambar 4.5 Skema Diagram <i>Microfiltration Membrane</i>	29
Gambar 4.6 Skema Pengolahan Membran	30
Gambar 4.7 Membran Dinamis Lapisan Ganda	31
Gambar 4.8 <i>Pilot Plant of Microfiltration Membran</i>	32
Gambar 4.9 Diagram Skema NPM-PAC	33
Gambar 4.10 Skema Unit Pemisahan Membran Keramik	34
Gambar 4.11 Bioreaktor Hibrid Anaerob	35
Gambar 4.12 Skema Anaerobic Membrane Bioreactor	36
Gambar 4.13 <i>Bacillus cereus</i> dan <i>Brevibacillus brevis</i>	37
Gambar 4.14 Penelitian <i>Microbial Isolates</i>	38
Gambar 4.15 Skema Diagram BAF	40
Gambar 4.16 Jenis Bakteri Pendegradasi Minyak dan Lemak.....	41
Gambar 5.1 Proses Produksi Industri Rumah Makan X	55
Gambar 5.2 Grafik Perkembangan Kendaraan Bermotor	60

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Hasil Studi	8
Tabel 3.1 Kelompok Mayor Minyak dan Lemak Nabati	12
Tabel 3.2 Contoh Minyak dan Lemak Hewani	12
Tabel 3.3 Komponen Penyusun Minyak dan Lemak Industri Makanan dan Minuman.....	14
Tabel 4.1 Karakteristik Influen Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit	26
Tabel 4.2 Karakteristik Efluen Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit	27
Tabel 4.3 Karakteristik Microfiltration Membrane.....	28
Tabel 4.4 Hasil Effluen <i>Carbon Membrane</i>	30
Tabel 4.5 Karakteristik Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit	42
Tabel 4.6 Rekapitulasi Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri.....	46
Tabel 4.7 Pengolahan Fisik Minyak dan Lemak Limbah Industri	50
Tabel 4.8 Pengolahan Biologis Minyak dan Lemak Limbah Industri.....	52
Tabel 4.9 Pengolahan Kimia Minyak dan Lemak Limbah Industri	53
Tabel 5.1 Baku Mutu Air Limbah.....	56
Tabel 5.2 Karakteristik Awal Limbah Industri Rumah Makan	57
Tabel 5.3 Prediksi Karakteristik Effluen Minyak dan Lemak Limbah Industri Rumah Makan X.....	58
Tabel 5.4 Baku Mutu Air Limbah.....	59
Tabel 5.5 Karakteristik Effluen Limbah Industri Penyulingan Pelumas Bekas	59

Tabel 5.6 Karakteristik Limbah Industri <i>Automobile</i>	61
Tabel 5.7 Baku Mutu Air Limbah	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	71
------------------	----

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di berbagai sektor pembangunan semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dunia (Sahubawa, 2011). Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki berbagai macam kegiatan industri. Sesuai Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014 tentang Perindustrian telah menyatakan bahwa industri merupakan salah satu pilar ekonomi dan memberikan peran yang cukup besar kepada pemerintah untuk mendorong kemajuan industri nasional secara terencana. Kemajuan industri berbanding lurus terhadap peningkatan limbah industri, baik berupa limbah padat, limbah cair maupun emisi

Parameter kualitas air limbah dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu parameter organik, karakteristik fisik, dan kontaminan spesifik. Contoh dari parameter organik adalah minyak dan lemak. Minyak dan lemak merupakan salah satu sumber pencemar yang belum tertangani dengan baik (Abuzar et al., 2012). Minyak dan lemak merupakan salah satu parameter yang konsentrasi maksimumnya dipersyaratkan untuk air limbah industri dan air permukaan (Hardiana and Mukimin, 2014). Limbah cair yang tidak dikelola akan menimbulkan dampak yang luar biasa pada perairan, khususnya sumber daya air (Junaidi and Hatmanto, 2006). Minyak dan lemak dengan konsentrasi yang tinggi dapat merusak ekosistem perairan (Abuzar et al., 2012). Minyak dan lemak yang terdapat di badan air akan membentuk lapisan di permukaan, karena nilai dari densitas minyak lebih kecil dari densitas air. Lapisan minyak dan lemak tersebut akan menghalangi masuknya cahaya matahari sehingga tumbuhan air tidak dapat melakukan fotosintesis. Untuk itu perlu diolah terlebih dahulu agar sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan.

Tujuan dari pengolahan limbah adalah untuk mengurangi volume, konsentrasi atau bahaya yang ditimbulkan oleh limbah sehingga dapat memenuhi baku mutu lingkungan yang dipersyaratkan (Metcalf and Eddy, 2014). Oleh karena itu setiap industri wajib memiliki pengolahan limbah masing-masing. Pengolahan limbah cair setelah proses produksi dimaksudkan untuk menghilangkan atau menurunkan konsentrasi bahan

pencemar yang terkandung didalamnya sehingga limbah cair tersebut memenuhi syarat untuk dapat dibuang (Junaidi and Hatmanto, 2006). Pengolahan limbah industri untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dapat berupa pengolahan fisik, pengolahan kimiawi maupun pengolahan biologis. Setiap jenis pengolahan memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing, sehingga perlu kajian untuk membahas mengenai hal tersebut. Beberapa industri telah melakukan pengolahan untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak, namun masih ada efluen yang tidak sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Pengolahan yang dilakukan oleh beberapa industri pada umumnya hanya menggunakan salah satu jenis. Oleh karena itu perlu dilakukan studi literatur untuk mengetahui konfigurasi sistem pengolahan yang ideal untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak. Hasil dari konfigurasi sistem pengolahan dapat digunakan untuk memperbaiki pengolahan yang telah digunakan maupun sebagai acuan untuk pengolahan yang baru akan dibangun. Selain itu adanya kajian mengenai kondisi eksisting pengolahan minyak dan lemak di industri, yang bertujuan sebagai perbandingan kondisi ideal dengan kondisi eksisting.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam studi ini yang menjadi pokok pembahasan adalah mengkaji pengolahan minyak dan lemak limbah industri yang ideal.

1.3 Tujuan Studi

Tujuan dari studi ini antara lain:

- a) Memperoleh konfigurasi sistem pengolahan minyak dan lemak dalam limbah industri
- b) Menentukan jenis pengolahan yang ideal pada studi kasus industri rumah makan, industri pelumas bekas dan industri *automobile*.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam studi ini antara lain:

- a) Limbah cair industri kimia organik dan turunannya.
- b) Pembahasan penurunan konsentrasi minyak dan lemak menggunakan pengolahan fisik, pengolahan kimiawi dan pengolahan biologis.
- c) Studi kasus yang digunakan menggunakan data sekunder.

- d) Metode penulisan studi literatur ini berdasarkan acuan jurnal ilmiah nasional, jurnal ilmiah internasional, prosiding seminar, peraturan yang telah ada, serta buku-buku terkait.

1.5 Manfaat Studi

Manfaat dari studi ini antara lain:

- a) Mendapatkan konfigurasi sistem pengolahan yang ideal untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak bagi industri.
- b) Memberikan informasi tentang karakteristik pencemar minyak dan lemak yang dihasilkan oleh industri.
- c) Memberikan informasi tentang masing-masing keunggulan dan kelemahan pengolahan minyak dan lemak.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 2

METODE STUDI

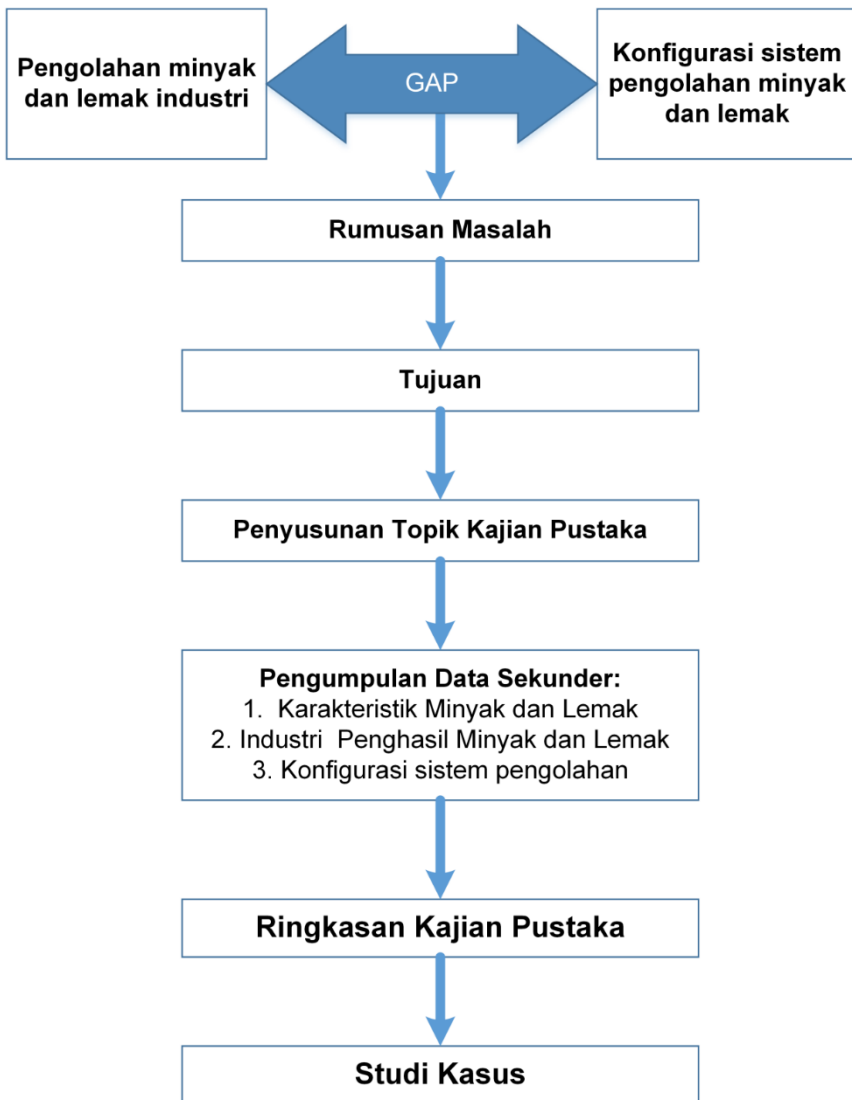
2.1 Umum

Metode studi yang digunakan bertujuan untuk memberikan arahan mengenai studi yang akan dilakukan. Studi ini dilakukan untuk memberikan pengetahuan mengenai karakteristik minyak dan lemak limbah industri, dan pengolahan ideal untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak menggunakan pengolahan fisik, kimia dan biologis. Manfaat yang didapat dari metode studi ini, antara lain:

- a. Sebagai arahan dan acuan selama proses penelitian.
- b. Memberikan gambaran pasti urutan tahapan kerja yang harus dilakukan selama proses penelitian sehingga tidak terjadi kebingungan bagi peneliti.
- c. Memperkecil kesalahan yang terjadi agar penelitian berjalan sistematis.

2.2 Kerangka Studi

Kerangka studi disusun untuk mengetahui tahapan kegiatan yang dilaksanakan dalam mencapai tujuan studi secara sistematis. Tujuan pembuatan kerangka studi ini adalah sebagai acuan proses pengambilan jurnal dan artikel, sehingga proses akan berjalan sistematis dan terencana. Tahapan dalam kerangka studi harus dibuat sedetail mungkin, untuk mempermudah dan memperkecil kesalahan selama proses studi. Penentuan tahapan studi dimulai dari asal muasal ide studi yang diperoleh berdasarkan gap yang ada, kemudian dilanjutkan dengan perumusan masalah, pengumpulan data hingga pengolahan data. Tahapan yang terakhir adalah menyelesaikan sebuah studi kasus yang memiliki permasalahan sehingga dapat diselesaikan dengan hasil studi yang akan dibuat nanti. Setiap tahapan yang ada dalam kerangka studi akan dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Kerangka Studi

2.3 Ide Studi

Ide studi dalam tugas akhir ini adalah Studi Literatur: Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri. Studi ini diperoleh melalui kondisi eksisting limbah industri yang mengandung minyak dan lemak, tanpa mengetahui karakteristik dasar sehingga kerap kali jenis pengolahan limbahnya tidak sesuai. Sehingga dari kondisi eksisting yang ada maka diperlukan solusi dari permasalahan yang ada. Ide studi tersebut menjadi dasar judul tugas akhir yang dipilih.

Topik yang berkaitan dengan kajian yang akan dilakukan berisi mengenai beberapa hal, yaitu:

- a) Karakteristik minyak dan lemak
- b) Pemilihan jenis industri yang menghasilkan minyak dan lemak dalam limbahnya.
- c) Pengolahan fisik, kimia dan biologis yang dapat menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah industri.
- d) Pemilihan konfigurasi sistem pengolahan yang ideal untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah industri.

2.4 Tujuan

Tujuan metode studi ini adalah menjawab rumusan masalah yang telah dibuat dan maksud dari ide studi yang dibuat. Dimana tujuan dari tugas akhir ini adalah memperoleh konfigurasi sistem pengolahan minyak dan lemak, serta menentukan pengolahan tepat guna untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah industri sehingga dapat diaplikasikan.

2.5 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan sumber referensi minimal 30 yang berasal dari jurnal ilmiah nasional, jurnal ilmiah internasional, prosiding seminar, peraturan yang telah ada, serta buku-buku terkait. Untuk data jurnal ilmiah yang digunakan disarankan adalah jurnal 5-10 tahun terakhir. Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder, seperti karakteristik minyak dan lemak, industri penghasil limbah minyak dan lemak, dan pengolahan limbah yang digunakan untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak. Setelah pengumpulan data, dilanjutkan dengan analisis data. Analisis data akan dibuat dalam bentuk tabel hasil evaluasi studi.

2.6 Hasil Studi

Hasil studi literatur akan dibentuk dalam sebuah buku yang memiliki outline sebagai berikut:

- 1) Bab I Pendahuluan
- 2) Bab II Metode Studi
- 3) Bab III Minyak dan Lemak
 - a) 3.1 Definisi Minyak dan Lemak
 - b) 3.2 Karakteristik Minyak dan Lemak
 - c) 3.3 Sumber Penghasil Minyak dan Lemak dari Industri
- 4) Bab IV Pengolahan Limbah Minyak dan Lemak
 - a) 4.1 Pengolahan Limbah Secara Fisik
 - b) 4.2 Pengolahan Limbah Secara Kimia
 - c) 4.3 Pengolahan Limbah Secara Biologis
- 5) Bab V Studi Kasus
- 6) Bab VI Penutup
 - a) 6.1 Kesimpulan
 - b) 6.2 Saran

Analisis dari studi literatur akan dimuat dalam bentuk tabel. Berikut adalah contoh tabel yang akan digunakan:

Tabel 2.1 Ringkasan Hasil Studi

No	Jenis Industri	Komponen Penyusun Minyak dan Lemak	Jenis Pengolahan	Efisiensi	Keterangan

Studi kasus yang dilakukan berdasarkan hasil tabel tersebut. Pemilihan jenis industri yang akan digunakan sebagai studi kasus berdasarkan hasil konfigurasi sistem pengolahan yang terdapat 3 cara pengolahan yakni secara fisik, kimia dan biologis. Data yang digunakan merupakan data sekunder, karakteristik minyak dan lemak yang dihasilkan diidentifikasi terlebih dahulu. Setelah melakukan identifikasi, dilihat berdasarkan tabel yang merupakan hasil studi ini, untuk menentukan jenis pengolahan yang ideal untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah industri.

BAB 3

MINYAK DAN LEMAK

3.1 Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa organik yang berasal dari alam dan tidak dapat larut di dalam air namun dapat larut dalam pelarut organik non-polar. Minyak dan lemak dapat larut karena memiliki polaritas yang sama dengan pelarut organik non-polar, contohnya adalah dietil eter ($C_2H_5OC_2H_5$), kloroform ($CHCl_3$), dan benzena (Herlina and Ginting, 2002). Minyak dan lemak termasuk salah satu anggota golongan lipid yaitu merupakan lipid netral (Ketaren, 1986). Berdasarkan sifat fisiknya, minyak dan lemak merupakan senyawa yang tak larut dalam air yang diestraw dari organisme hidup menggunakan pelarut yang kepolarannya lemah atau pelarut non polar (Ngili, 2009). Minyak dan lemak merupakan campuran lipid yang terdiri dari triacylglycerols 95% dan sisanya adalah *diacylglycerols*, *monoacylglycerols* dan *free fatty acids* (FFA) (Gunstone, 2004).

Minyak memiliki struktur ester, sedangkan lemak memiliki struktur asam karboksilat dengan rantai hidrokarbon yang berkisar mulai dari 4 hingga 36 $C_4 - C_{36}$. Minyak banyak mengandung ikatan rangkap sedangkan lemak banyak mengandung ikatan tunggal (Nelson and Cox, 2005).

Karakteristik fisik minyak dan lemak dapat dilihat berdasarkan (Gunstone, 2004, 2008):

- a) Polimerisasi, struktur kristal dan titik lebur
Polimerisasi merupakan proses dari pembentukan rangkaian molekul panjang yang tersusun dari pengulangan kesatuan molekul kecil dan sederhana. Struktur kristal adalah susunan sekumpulan atom yang membentuk bangun ruang tiga dimensi. Titik lebur adalah titik dimana dua komponen menjadi satu.
- b) Densitas
Densitas atau massa jenis minyak dan lemak menunjukkan perbandingan antara massa per satuan volume. Nilai densitas akan berbeda-beda, sesuai dengan masing-masing zat penyusunnya.
- c) Visikositas
Visikositas menunjukkan ketahanan yang dimiliki oleh suatu bahan cair yang dialirkan dalam pipa kapiler. Apabila suatu zat memiliki visikositas yang rendah maka ketahanan yang

dimiliki semakin kecil sehingga kecepatan aliran akan semakin besar.

- d) Indeks bias
Indeks bias merupakan perbandingan antara kecepatan cahaya dalam ruang hampa udara dengan cepat rambat cahaya pada suatu medium.
- e) Kelarutan gas dalam minyak
Kelarutan gas dalam minyak dan lemak bergantung pada kelarutan masing-masing gas sesuai dengan konsentrasinya.
- f) Ester gliserol
Ester gliserol adalah gugus ester yang terdapat pada senyawa gliserol.

Karakteristik kimia minyak dan lemak dapat dilihat sebagai berikut (Gunstone, 2004, 2008):

- a) Hidrogenasi
Hidrogenasi merupakan proses yang menggunakan gas hidrogen untuk menstabilkan minyak dan lemak. Selain itu, mencegah terjadinya pembusukan akibat oksidasi.
- b) Hidroksilasi
Hidroksilasi merupakan proses kimia yang menambahkan gugus hidroksil ke dalam senyawa organik.
- c) Halogenasi
Halogenasi merupakan reaksi kimia dengan melibatkan penambahan satu atau lebih halogen pada suatu senyawa.
- d) Dimerisasi
Dimerisasi merupakan reaksi dari penggabungan monomer-monomer yang membentuk dimer.
- e) Perubahan dalam keadaan *thermal*
Minyak dan lemak akan mengalami oksidasi apabila suhu mencapai lebih dari 180°C, sehingga sifat kimianya akan berubah pula.

Minyak dan lemak dapat berbahaya bagi lingkungan apabila melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Minyak dan lemak yang terdapat di perairan akan berada di lapisan permukaan karena memiliki massa jenis yang lebih rendah dari air. Lapisan minyak dan lemak yang terakumulasi akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air sehingga tumbuhan air tidak mampu melakukan fotosintesis. Selain itu, minyak dan lemak mampu

mengikat oksigen yang dibutuhkan biota air untuk respirasi. Penurunan estetika ekosistem perairan juga akan terjadi apabila ada pencemaran minyak dan lemak.

3.2 Klasifikasi Minyak dan Lemak

Minyak dan lemak dapat dibagi menjadi beberapa bagian kelompok, yaitu sebagai berikut:

3.2.1 Minyak dan lemak berdasarkan sumber

Minyak dan lemak dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya menjadi beberapa kelompok utama, yaitu:

a) Minyak dan lemak nabati

Minyak dan lemak nabati yaitu minyak dan lemak yang berasal dari tumbuhan. Minyak dan lemak nabati mengandung fitosterol. Minyak nabati berwujud cair berasal dari minyak zaitun, minyak kacang-kacangan, minyak dari bunga matahari sedangkan lemak nabati berwujud padat berasal dari biji coklat, kelapa sawit (Ketaren, 1986). Minyak dan lemak nabati pada umumnya terbagi dalam kelompok mayor dan kelompok minor. Kelompok mayor minyak dan lemak nabati disusun berdasarkan ISTA Mielke of Hamburg. Kelompok mayor minyak dan lemak nabati dikategorikan menjadi tiga, yaitu:

- Kategori produk sampingan, jadi tumbuhan ditanam untuk menghasilkan produk lainnya, bukan minyak dan lemak yang menjadi fokus produk.
- Kategori perkebunan, jadi tumbuhan sengaja ditanam dalam jumlah besar untuk menghasilkan minyak dan lemak yang dibutuhkan. Namun kategori ini membutuhkan waktu yang cukup lama.
- Kategori tumbuhan musiman, jadi tumbuhan ditanam sesuai dengan musimnya agar menghasilkan minyak dan lemak.

Sedangkan, kelompok minor minyak dan lemak merupakan kelompok minyak dan lemak yang mengandung asam lemak dan komponen lain yang berbeda dari komponen umumnya. Selain itu, minyak dan lemak kelompok minor berjumlah sedikit sehingga perlu dikembangkan agar dapat dimanfaatkan (Gunstone, 2004). Berikut adalah tabel mengenai kelompok mayor minyak dan lemak nabati dan sumbernya:

Tabel 3.1 Kelompok Mayor Minyak dan Lemak Nabati

No	Jenis Minyak dan Lemak	Sumber
1	<i>Castor oil</i>	<i>Ricinus communis</i>
2	<i>Cocoa butter</i>	<i>Theobroma cacao</i>
3	<i>Coconut oil</i>	<i>Cocos nucifera</i>
4	<i>Corn oil</i>	<i>Zea mays</i>
5	<i>Cottonseed oil</i>	<i>Gossypium hirsutum</i>
6	<i>Groundnut oil</i>	<i>Arachis hypogea</i>
7	<i>Linseed</i>	<i>Linum usitatissimum</i>
8	<i>Olive oil</i>	<i>Oleo europaea</i>
9	<i>Palm oil</i>	<i>Elaeis guinensis</i>
10	<i>Palmkernel oil</i>	<i>The kernels of the oil palm</i>
11	<i>Rapeseed oil (Canola oil)</i>	<i>Brassica napus</i>
12	<i>Rice bran oil</i>	<i>Oryza sativa</i>
13	<i>Safflower oil</i>	<i>Carthamus tinctorius</i>
14	<i>Sesame oil</i>	<i>Sesamum indicum</i>
15	<i>Soybean oil</i>	<i>Glycine max</i>
16	<i>Sunflower oil</i>	<i>Helianthus annuus</i>
17	<i>Tall oil</i>	<i>Talloilja</i>

Sumber: (Gunstone, 2004)

b) Minyak dan lemak hewani

Minyak dan lemak hewani yaitu minyak dan lemak yang berasal dari hewan. Minyak hewani berwujud cair berasal dari minyak ikan sedangkan lemak hewani berbentuk padat berasal dari lemak susu dan lemak yang terkandung dalam tubuh hewan (Ketaren, 1986). Berikut adalah contoh minyak dan lemak hewani pada umumnya:

Tabel 3.2 Contoh Minyak dan Lemak Hewani

No	Jenis Minyak dan Lemak	Sumber
1	<i>Butter fat</i>	Sapi perah
2	<i>Lard</i>	Babi
3	<i>Tallow</i>	Kambing, ayam
4	<i>Fish oil</i>	Ikan

Sumber: (Gunstone, 2004)

3.2.2 Minyak dan lemak berdasarkan kegunaannya

Berikut adalah klasifikasi minyak dan lemak berdasarkan kegunaannya:

- Minyak bumi digunakan sebagai bahan bakar.
- Minyak dan lemak nabati atau hewani digunakan sebagai salah satu sumber makanan makhluk hidup.
- Minyak dan lemak astiri digunakan sebagai obat-obatan (Herlina and Ginting, 2002).

3.3 Industri Penghasil Limbah Minyak dan Lemak

Industri adalah seluruh bentuk kegiatan ekonomi yang mengolah bahan baku dan/atau memanfaatkan sumber daya industri sehingga menghasilkan barang yang mempunyai nilai tambah atau manfaat lebih tinggi. Perindustrian adalah tatanan dan segala kegiatan yang bertalian dengan kegiatan industri. Kawasan industri adalah kawasan tempat pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana penunjang yang dikembangkan dan dikelola oleh Perusahaan Kawasan Industri Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014. Beberapa jenis industri menghasilkan minyak dan lemak dalam limbahnya adalah industri kimia organik dan turunannya. Batasan baku mutu masing-masing industri berbeda-beda, untuk selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A mengenai baku mutu industri kimia organik dan turunannya. Berikut adalah jenis-jenis industri yang telah ditetapkan oleh pemerintah mengenai baku mutu minyak dan lemaknya berdasarkan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013:

- Industri Penyamaan Kulit
- Industri Gula
- Industri Tekstil
- Industri Urea, Pupuk Nitrogen, Pupuk ZA, dan Ammoniak
- Industri Pupuk Fosfat, Pupuk Majemuk NPK, dan Asam Fosfat
- Industri Cat dan Tinta
- Industri Minyak Kelapa Sawit
- Industri Minyak Nabati, Sabun/Detergent
- Industri Oleokimia Dasar
- Industri Pengalengan/Pengolahan Ikan
- Industri Tepung Ikan
- Industri *Cold Storage*
- Industri Minuman
- Industri Biskuit dan Roti(*Bakery*)

- Industri Pengupasan Biji Kopi/Coklat
- Industri Kembang Gula
- Industri Bumbu (*Seasoning*)
- Industri Mie dan Kerupuk
- Industri Pengolahan Daging
- Industri Pengolahan Daging Bekicot
- Industri Rokok dan Cerutu
- Industri Penyulingan Pelumas Bekas
- Kegiatan Eksplorasi dan Produksi Migas dan Fasilitas Darat (*On-Shore*) Lama dan Baru
- Eksplorasi dan Produksi Panas Bumi
- Industri dan Kegiatan Pengolahan Minyak Bumi
- Kegiatan dan Proses Pengilangan LNG dan LPG Terpadu
- Industri Petrokimia Hulu
- Industri Lem
- Industri Poly Ethylene Terephthalate (PET)
- Industri Purified Terephthalic Acid (PTA)

Komponen penyusun minyak dan lemak masing-masing industri berbeda, bergantung terhadap bahan baku, proses produksi serta bahan tambahan. Untuk mempermudah mengetahui komponen penyusun minyak dan lemak dalam industri akan dikategorikan berdasar industri yang sejenis. Pengelompokan industri akan menjadi tiga bagian yaitu industri makanan dan minuman, industri minyak bumi dan industri lain-lain. Berikut adalah pengelompokan industrinya:

A . Industri Pengolahan Makanan dan Minuman

Komponen utama penyusun minyak dan lemak berasal dari minyak nabati dan minyak hewani. Berikut adalah Tabel 3.3 yang berisi tentang komponen minyak dan lemak yang sering dijumpai pada industri makanan dan minuman:

Tabel 3.3 Komponen Penyusun Minyak dan Lemak Industri Makanan dan Minuman

<i>Systematic Name</i>	<i>Short Hand</i>	Δ	ω	<i>Melting Point</i> ($^{\circ}\text{C}$)	<i>Molecular weight</i>
Butanoic	4:0			-5,3	78,1
Hexanoic	6:0			-3,2	116,2
Octanoic	8:0			16,5	144,2
Decanoic	10:0			31,6	172,3

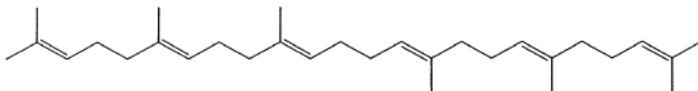
Systematic Name	Short Hand	Δ	ω	Melting Point (°C)	Molecular weight
Dodecanoic	12:0			44,8	200,3
Tetradecanoic	14:0			54,4	228,4
Hexadecanoic	16:0			62,9	256,4
Octadecanoic	18:0			70,1	284,5
Octadecenoic	18:1	9	9	16,2	282,5
Octadecenoic	18:1	11	7	44,1	282,5
Octadecadienoic	18:2	9,12	6	-5	280,4
Octadecatrienoic	18:3	9,12,15	3	-11	278,4
Eicosatetraenoic	20:4	5,8,11,14	6	-49	304,5
Eicosapentaenoic	20:5	5,8,11,14,17	3		302,5
Docosahexaenoic	22:6	4,7,10,13,16,19	3		328,5

Sumber: (Gunstone, 2008)

B. Industri Pengolahan Minyak Bumi

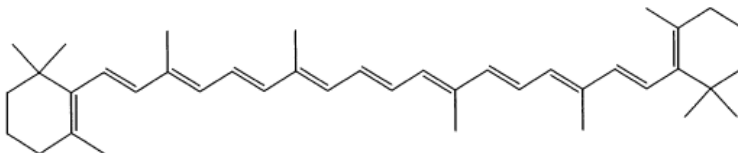
Komponen penyusun minyak bumi salah satunya adalah hidrokarbon. Alkana, alkane dan *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) merupakan contoh dari hidrokarbon. Hidrokarbon merupakan senyawa yang memiliki struktur hanya karbon dan hidrogen.

Alkane memiliki rantai karbon yang berjumlah genap mulai dari C₁₂. Contoh dari alkane adalah *squalene* (C₃₀H₆₂) dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan *carotenes* dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.1 Struktur Squalene

Sumber: (Gunstone and Hersolf, 2000)



Gambar 3.2 Struktur Carotenes

Sumber: (Gunstone and Hersolf, 2000)

Karakteristik minyak bumi pada umumnya memiliki nilai viskositas yang ditentukan oleh berat molekul, panjang molekul dan cabang molekul tersebut. Minyak bumi dalam keadaan oksidasi yang stabil pada suhu dibawah 100°C. Pengelompokan dari minyak bumi ini terbagi menjadi tiga, yaitu:

a. *Paraffinic*

Paraffinic merupakan jenis minyak dan lemak yang terdiri dari pencampuran gugus alkana; hidrokarbon yang memiliki rantai karbon jenuh dengan hidrogen. Rantai hidrokarbon dapat memanjang maupun bercabang.

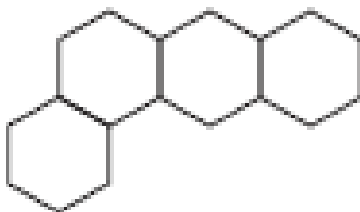


Gambar 3.3 *Paraffins*

Sumber: (Lugt, 2013)

b. *Naphthenic*

Naphthenic merupakan jenis minyak dan lemak yang terdiri dari lima hingga enam gugus hidrokarbon siklik dengan satu atau lebih gugus karbon siklik jenuh. *Naphthenic* memiliki densitas yang lebih besar daripada *Paraffinic*.

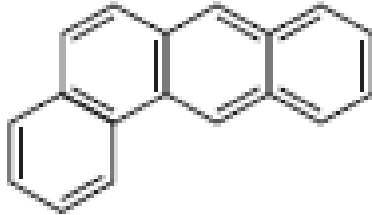


Gambar 3.4 *Naphthenes*

Sumber: (Lugt, 2013)

c. *Aromatic*

Aromatic merupakan hidrokarbon yang memiliki ikatan karbon rangkap dan ikatan tunggal konjugasi. *Aromatic* memiliki densitas yang lebih tinggi dari *Naphthenic*, stabil dalam keadaan suhu tinggi dan titik lebur yang rendah.



Gambar 3.5 Aromatics

Sumber: (Lugt, 2013)

-Halaman sengaja dikosongkan-

BAB 4

PENGOLAHAN MINYAK DAN LEMAK LIMBAH INDUSTRI

Unit pengolahan limbah pada umumnya terdiri dari unit operasi dan unit proses. Unit operasi meliputi pengolahan fisik, contohnya adalah ekualisasi, koagulasi, flokulasi, sedimentasi dan aerasi. Unit proses meliputi pengolahan kimia dan pengolahan biologis, contohnya adalah *activated sludge* atau lumpur aktif (Junaidi and Hatmanto, 2006). Jenis pengolahan limbah ada tiga yaitu secara fisik, kimia dan biologi. Pemilihan jenis pengolahan berdasarkan beberapa faktor yaitu (Metcalf and Eddy, 2014):

- a. Kemampuan proses pengolahan
- b. Karakteristik influen air limbah
- c. Kondisi lingkungan pengolahan limbah
- d. Analisis siklus ekonomi
- e. Ketersediaan lahan

4.1 Pengolahan Fisik

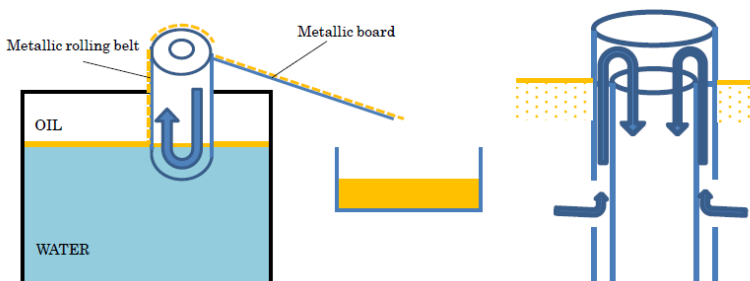
Pengolahan fisik merupakan jenis pengolahan limbah dengan memanfaatkan aktivitas fisik. Pengolahan fisik bertujuan untuk menghilangkan partikel-partikel yang berukuran besar. Berikut contoh dari pengolahan minyak dan lemak limbah industri secara fisik:

4.1.1 Grease Trap

Grease Trap merupakan pengolahan limbah secara fisik yang berguna memisahkan minyak dan lemak dengan kecepatan lambat. Kecepatan yang lambat akan memberikan waktu untuk minyak dan lemak terpisah dari air dengan gaya gravitasi. Minyak dan lemak yang telah terpisahkan akan ditampung pada sebuah wadah pembuangan. Sampel air limbah berasal dari industri minuman ringan. Air limbah yang masih mengandung minyak dan lemak dapat berkurang pada unit *Oxydation Ditch (OD)*. Industri ini menggunakan dua buah OD yang dipasang secara seri. Influen minyak dan lemak sebesar 20 ppm dapat berkurang hingga 75%. Sehingga minyak dan lemak pada effluen sebesar 5 ppm, sudah sesuai baku mutu yang berlaku (Indriyati dan Susanto, 2009).

Grease ECO merupakan salah satu contoh unit pengolahan yang memisahkan minyak dan lemak dari air limbah menggunakan gaya gravitasi. Mekanisme dari unit *Grease ECO* adalah memisahkan sekaligus menggunakan kembali minyak dan lemak, serta mengontrol dan mendaur ulang air limbah. Sampel air limbah yang digunakan adalah limbah industri pengolahan makanan. Ketika air limbah masuk ke dalam unit memiliki suhu sebesar 60°C sehingga minyak dan lemak dapat terpisahkan dari air karena adanya perbedaan gravitasi (Ankyu and Noguchi, 2014).

Grease ECO memiliki 2 tangki, seperti pada Gambar 4.1. Air limbah dengan kecepatan tertentu mengalir melalui tangki pertama, kemudian terbentuk dua lapisan akibat adanya perbedaan gravitasi. Lapisan atas merupakan minyak dan lemak, sedangkan lapisan bawah merupakan air limbah. Minyak dan lemak dipisahkan melalui konveyor dan dibawa menuju kotak pengumpul. Selanjutnya, air limbah mengalir menuju tangki kedua. Air limbah dalam tangki kedua masih mengandung minyak dan lemak dalam jumlah yang relatif sedikit. Dalam tangki kedua terdapat pipa, air limbah yang berada di lapisan tengah mengalir melalui sisi luar pipa. Sedangkan lapisan minyak dan lemak yang terbentuk diatas mengalir melalui sisi dalam pipa. Sehingga dalam tangki kedua terbentuk tiga lapisan, yaitu lapisan atas yang berupa minyak dan lemak dengan konsentrasi tinggi, lapisan tengah berupa air limbah dan lapisan bawah berupa kontaminan berat (Ankyu and Noguchi, 2014).

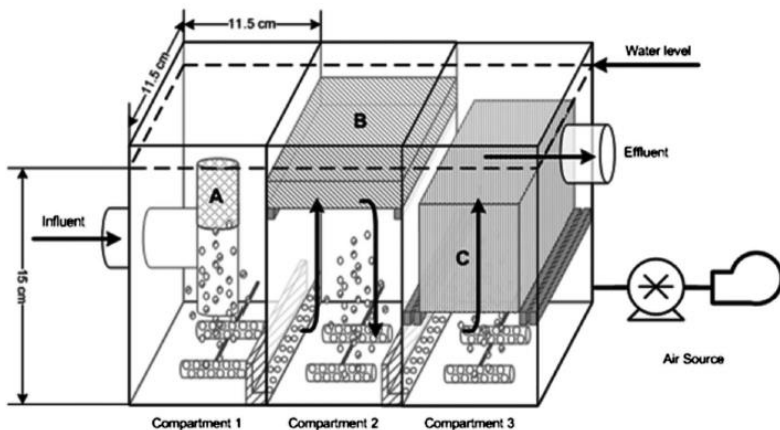


Gambar 4.1 Struktur *Grease ECO*

Sumber: (Ankyu and Noguchi, 2014)

Grease trap yang berskala laboratorium memiliki tiga kompartemen yang dilengkapi dengan aerator. Tujuan dari adanya aerator adalah untuk mengontrol jumlah oksigen yang dibutuhkan

dan mikroorganisme agar saling kontak dengan minyak dan lemak. Sampel air limbah berasal dari sebuah industri rumah makan. Kompartemen pertama berguna sebagai tempat penampungan air limbah, dan pengontrol debit limbah. Kompartemen kedua berguna sebagai tempat penangkap minyak dan lemak hingga terpisah dari air limbah. Kompartemen ketiga berguna untuk menangkap sisa minyak dan lemak maupun mikroorganisme yang masih terbawa oleh air limbah. *Grease trap* yang berskala lapangan memiliki kapasitas daya tampung sebesar 600 liter seperti pada Gambar 4.2 (Nisola et al., 2009).



Gambar 4.2 Skema Diagram Fat Oil Grease-Trap

Sumber:(Nisola et al., 2009)

Kedua *grease trap* tersebut mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak sebanyak 90-99%. Semakin lama waktu tinggal maka akan semakin tinggi penurunan minyak dan lemaknya. Apabila pada kompartemen pertama diberi mikroorganisme jenis *Pseudomonas aeruginosa*, maka penurunan minyak dan lemak akan semakin bertambah pula. Hal tersebut dikarenakan kemampuan mikroorganisme dalam menguraikan komponen penyusun minyak dan lemak. *Grease trap* yang berskala laboratorium dengan tambahan mikroorganisme lebih efektif menurunkan konsentrasi minyak dan lemak $> 1.000\text{mg/l}$. Sedangkan, *grease trap* yang berskala lapangan lebih efektif bila influen minyak dan lemak $< 1.000\text{mg/l}$. Oleh karena itu, penambahan mikroorganisme pada *grease trap* lebih cocok

diaplikasikan, karena apabila infulen minyak dan lemak mengalami fluktuasi tidak banyak mempengaruhi efisiensi penurunan minyak dan lemak (Nisola et al., 2009).

4.1.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses fisika dan/atau proses kimia dimana substansi terakumulasi pada suatu lapisan permukaan zat yang menyerap (adsorben). Terdapat berbagai jenis adsorben yang dapat digunakan antara lain karbon aktif, *fly ash*, serbuk kayu, ampas tebu, maupun kulit jagung (Abuzar et al., 2012). Faktor yang mempengaruhi laju dan kemampuan adsorpsi adalah luas permukaan adsorben, jumlah adsorben, jenis adsorbat, konsentrasi adsorbat, perlakuan pendahuluan terhadap adsorben, pH, kecepatan pengadukan dan waktu kontak. Penyisihan minyak dan lemak dapat menggunakan kulit jagung sebagai adsorbennya, namun harus dengan kondisi tertentu.

Abuzar et al., (2012) menggunakan media kulit jagung untuk proses adsorpsi. Langkah pertama adalah mencuci kulit jagung untuk menghilangkan pasir maupun kotoran yang menempel. Selanjutnya, kulit jagung dipotong dan dijemur pada suhu 25°C. Kulit jagung yang telah kering digiling dengan grinder menjadi serbuk dengan diameter sekitar 1 mm dan diayak mendapatkan diameter tertentu. Setelah dilakukan percobaan, kondisi optimum penyerapan minyak dan lemak adalah serbuk jagung berdiameter (0,127 - 0,181) mm, berat 1,5 gram, waktu kontak 90 menit, konsentrasi 100 ppm, kecepatan pengadukan 150 rpm dan pH 5.

Hamid et al., (2015) melakukan penelitian proses adsorpsi menggunakan media tebu dan batang pisang. Pengamatan adsorben secara fisik dapat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), sedangkan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) digunakan untuk mengetahui susunan struktur kimianya. *Scanning Electron Microscope* (SEM) menunjukkan bahwa tebu memiliki bentuk struktur memanjang dan berpori-pori, sedangkan batang pisang memiliki struktur yang halus. *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) menunjukkan bahwa tebu memiliki stuktur kimia berupa gugus hidroksil (-OH), ikatan karbon-hidrogen (C-H), ikatan rangkap karbon-oksigen (C=O), dan ikatan karbon-oksigen-hidrogen (C-OH). Berbeda dengan batang pisang yang memiliki struktur kimia berupa alkohol, alkana, karbonil dan aromatik.

Adsorpsi dengan menggunakan adsorben tebu dan batang pisang ini dilakukan dengan dua jenis variasi yaitu, waktu kontak

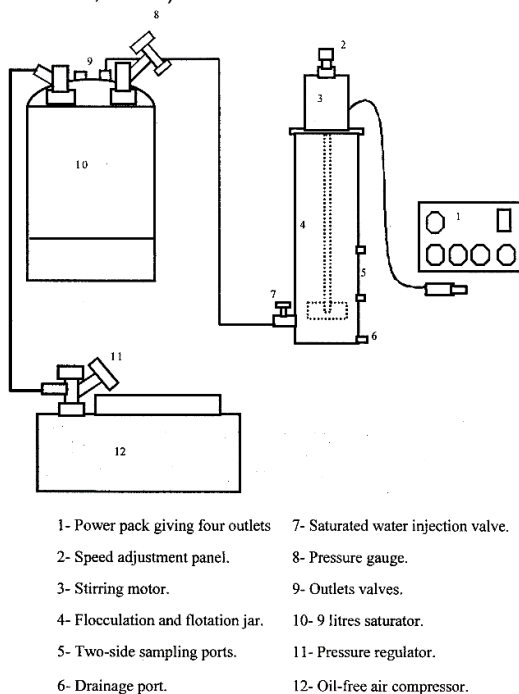
dan dosis adsorben. Waktu kontak akan berbanding lurus dengan penurunan minyak dan lemak. Adsorben tebu mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak hingga 56% selama 80 menit. Sedangkan adsorben batang pisang selama 60 menit menurunkan konsentrasi minyak dan lemak sebanyak 97%. Adsorpsi terbagi menjadi dua fase yaitu *primary rapid phase* dan *slow phase*. Pada fase awal menunjukkan kondisi awal adsorben dalam menyesuaikan dengan keadaan serta mulai mengadsorpsi polutan. Penyerapan polutan akan meningkat secara cepat hingga perlahan-lahan melambat yang menunjukkan telah memasuki fase kedua. Dosis adsorben juga berpengaruh pada penurunan konsentrasi minyak dan lemak. Semakin banyak dosis adsorben maka semakin tinggi penurunan konsentrasi minyak dan lemaknya. Hal tersebut dikarenakan permukaan penyerapan polutan oleh adsorben semakin banyak bila dosis adsorben banyak pula. Dengan dosis yang sama yaitu 5 gram, tebu dan batang pisang mampu menurunkan sebanyak 63% dan 97% (Hamid et al., 2015).

4.1.3 Flotasi

Flotasi merupakan salah satu metode untuk memisahkan atau menghilangkan minyak teremulsikan pada air limbah. Tekanan udara dan reaksi dengan oksigen akan membuat minyak terflotasi. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak akan berbanding terbalik dengan pertambahan waktu kontak. Sampel air limbah yang digunakan berasal dari industri pembangkit listrik. Apabila dalam limbah masih terdapat kandungan minyak dan lemak yang tinggi dapat diturunkan menggunakan lumpur aktif. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak dapat terjadi karena adanya biodegradasi senyawa minyak dalam larutan oleh mikroorganisme dalam lumpur aktif. Aerasi dan penambahan nutrisi menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme sehingga penguraian minyak dan lemak dapat meningkat pula. Mikroorganisme mampu mengoksidasi senyawa hidrokarbon alifatik jenuh dengan bantuan oksigen. Semakin lama waktu kontak, maka semakin banyak yang teroksidasi hingga minyak dan lemak yang terkandung dalam limbah menghilang (Suyasa dan Arsa, 2013).

Dissolved Air Flotation (DAF) merupakan unit pengolahan yang membawa partikel tersuspensi ke atas permukaan limbah dengan bantuan udara. Gambar 4.3 merupakan jenis DAF yang

digunakan berasal dari Capital Controls Oxfordshire, United Kingdom. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja DAF dalam menurunkan minyak dan lemak, salah satunya dengan adanya *pre-treatment* berupa koagulasi dan flokulasi. Sampel yang digunakan berasal dari industri minyak bumi. *Pre-treatment* dilakukan untuk memudahkan pemisahan minyak dan lemak karena telah terbentuk flok-flok. Faktor lain yang mempengaruhi efisiensi penurunan minyak dan lemak adalah tekanan. Semakin tinggi tekanan dan dosis *aluminium sulphate* yang digunakan dalam DAF maka efisiensi penurunannya akan semakin tinggi pula (Al Shamrani et al., 2002).



Gambar 4.3 Skema Diagram Unit DAF

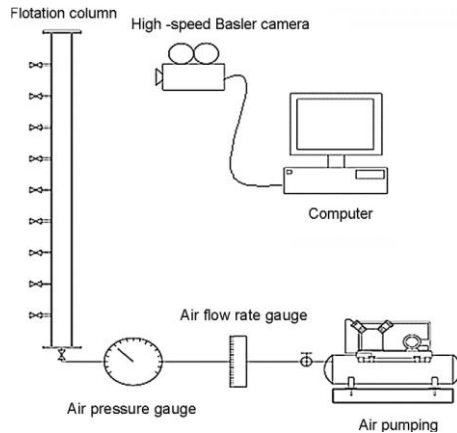
Sumber: (Al Shamrani et al., 2002)

Induced Air Flotation (IAF) merupakan pengolahan limbah dengan menggunakan agitator maupun sistem injeksi udara serta dikonfigurasi dengan koagulasi seperti pada Gambar 4.4. Sampel air limbah yang digunakan adalah industri minyak kelapa

sawit. Unit IAF mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak hingga 80% dengan kecepatan udara 5 ml/detik. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak disebabkan oleh kontak gelembung udara dengan partikel minyak dan lemak, sehingga gelembung udara tersebut mengikat partikel minyak dan lemak. Terdapat tiga macam zona dalam IAF berdasarkan variasi waktu kontak dan persentase penurunan polutan, yaitu:

- a) Zona bebas, merupakan zona kontak antara partikel minyak dan lemak serta gelembung udara. Kecepatan udara dan waktu kontak tidak berpengaruh signifikan terhadap persentase penurunan polutan.
- b) Zone pengikat, merupakan zona kedua dimana terjadi peningkatan persentase penurunan polutan yang tinggi. Aliran yang turbulen mengakibatkan berkurangnya waktu kontak sehingga persentase penurunan polutan menurun. Namun, aliran yang laminar juga mengakibatkan penurunan persentase polutan karena kecepatan udara yang kecil memperlambat waktu kontak.
- c) Zona pemecah, merupakan zona dimana gelembung udara mulai pecah sehingga persentase penurunan polutan semakin menurun.

Koagulasi diperlukan setelah limbah keluar dari IAF karena minyak dan lemak akan berada di permukaan. Koagulasi dengan menggunakan alum sebagai koagulan membutuhkan waktu yang lama untuk pengadukan cepat dan pengadukan lambat serta pengendapan.



Gambar 4.4 Diagram Proses Flotasi dengan IAF

Sumber: (Painmanakul et al., 2010)

Modified Induced Air Flotation (MIAF) merupakan pengolahan limbah dengan menggabungkan kedua jenis pengolahan tersebut, yaitu IAF dan koagulasi. *Modified Induced Air Flotation* (MIAF) memiliki beberapa keunggulan, yaitu waktu pengoperasian yang singkat, kebutuhan lahan yang tidak terlalu besar, penghematan energi karena tidak perlu pengadukan dan berkurangnya biaya untuk bahan kimia. Namun, MIAF dapat bekerja secara optimum dengan kondisi antara lain, dosis alum 800 atau 1400 mg/l, pH 8 dan waktu pengoperasian 10 menit. Ukuran gelembung udara yang kecil akan konstan pada kecepatan udara yang rendah pula, namun akan meningkat apabila kecepatan udara juga meningkat. Rasio antara luas permukaan dan kecepatan gradien memegang peranan penting dalam proses flotasi, karena dengan rasio yang tepat akan meningkatkan keefektifan unit dalam menurunkan konsentrasi minyak dan lemak (Painmanakul et al., 2010).

Dissolved Air Flotation (DAF) apabila disertai dengan *pre-treatment* akan menghasilkan kualitas effluen yang cenderung lebih baik (Rattanapan et al., 2011). Sampel air limbah yang digunakan berasal dari limbah industri minyak sawit. Berikut adalah karakteristik limbah industri minyak sawit:

Tabel 4.1 Karakteristik Influen Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	Konsentrasi
Color	-	White (emulsion)
pH	-	8,5 - 10
Oily sludge	mg/l	1500 - 5000
Chemical oxygen demand (COD)	mg/l	60000 - 150000
Biological oxygen demand (BOD5)	mg/l	30000 - 60000
Oil and grease	mg/l	7000 - 15000
Saponification number	mg-KOH/g	4,77 -18,99
Free fatty acid (FFA)	% Palmitic acid	0,14

Sumber: (Rattanapan et al., 2011)

Pre-treatment yang akan digunakan adalah *acidification* dan *coagulation*. Jenis asam yang dipilih dalam proses asidifikasi adalah H_2SO_4 , karena dibandingkan dengan HCl yang lebih mahal serta berbahaya bagi lingkungan. Kondisi pH yang dipilih adalah 3 karena apabila kondisi cenderung netral maka proses penurunan

konsentrasi minyak dan lemak tidak signifikan. Waktu kontak yang dipilih adalah antara 1-3 hari, karena dengan waktu yang cukup singkat mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak lebih dari 80%. Proses koagulasi menggunakan koagulan berupa alum dengan konsentrasi 1 mg/l dengan waktu kontak selama 1 jam. Proses koagulasi tersebut mempunyai beberapa keunggulan, yaitu harga koagulan yang relatif murah, dan mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak hingga lebih dari 95% dengan kondisi pH 5-6. Walaupun tetap memiliki kelemahan yaitu konsentrasi COD tetap tinggi. Selanjutnya adalah reaktor DAF, pada DAF mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak hingga 98%. Berikut adalah Tabel 4.2 mengenai hasil efluen limbah:

Tabel 4.2 Karakteristik Efluen Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	Karakteristik		Efisiensi (%)
		Influen	Efluen	
Color	-	White (emulsion)	No Color	-
pH	-	8,5 - 10	6	-
Oily sludge	mg/l	1500 - 5000	5 - 20	85 - 95
Chemical oxygen demand (COD)	mg/l	60000 - 150000	10000 - 20000	80 - 90
Biological oxygen demand (BOD5)	mg/l	30000 - 60000	4000 - 10000	80 - 90
Oil and grease	mg/l	7000 - 15000	30 - 100	98 - 99,6
Saponification number	mg-KO H/g	4,77 -18,99	-	-
Free fatty acid (FFA)	% Palmitic acid	0,14	-	-

Sumber: (Rattanapan et al., 2011)

4.1.4 Teknologi Membran

Pengembangan proses penyaringan menggunakan membran dapat dilihat dengan adanya variasi jenis penyaringannya, mulai dari *microfiltration*, *ultrafiltration*, *nanofiltration*, dan *reverse osmosis*.

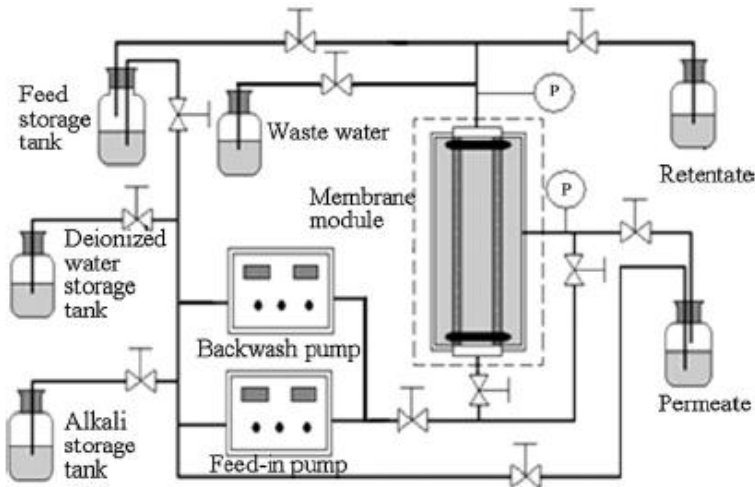
Berdasarkan penelitian Cui et al., (2008) yang berskala lapangan menjelaskan bahwa *microfiltration membrane* mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah cair. Sampel air limbah menggunakan 0,1 gram oli pelumas Dalia Petrochemical Corporation of China Membran ini menggunakan α - Al_2O_3 yang berdiameter dalam 10 mm dan luar 13 mm. *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk mengamati perkembangan zeolit NaA dengan perbedaan rentang waktu antara 0 jam, 2 jam, 4 jam, 10 jam, 18 jam, 36 jam dan 54 jam. Waktu akan berbanding lurus dengan ketebalan zeolit, namun berbanding terbalik dengan ukuran pori. Jenis zeolit NaA yang digunakan adalah keramik, NaA1 dan NaA2 dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.3 Karakteristik Microfiltration Membrane

Membran	Pore size/thickness	N ₂ Permeance	N ₂ Permeability	H ₂ O Flux
Ceramic	2.1	29	0	110
NaA1	1,2/6	18	108	85
NaA2	0,4/10	1,5	15	9

Hasil penelitian menyebutkan bahwa NaA1 mampu menghasilkan air kurang dari 2,5 mg/liter oli, dan NaA2 kurang dari 1 mg/liter oli. Ketiga jenis membran tersebut mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak hingga 99%, sehingga dapat diaplikasikan pada industri sejenis. Membran mikrofiltrasi ini memerlukan *backwash* secara rutin menggunakan air panas dan alkali panas.

Keunggulan dari jenis pengolahan ini adalah bahan yang digunakan sebagai membran yaitu zeolit mudah didapat, ramah lingkungan dan murah dibanding dengan keramik. Selain itu, tidak membutuhkan energi yang besar dan mampu menghasilkan air bersih kurang dari 3 mg/liter oli dengan sampel berkisar antara 100-500 mg/liter oli. Namun pengolahan ini memiliki kelemahan yaitu perlu adanya *pre-treatment* berupa *hydrothermal synthesis*. Gambar 4.5 merupakan skema diagram pengolahan minyak dan lemak menggunakan *microfiltration membrane*.



Gambar 4.5 Skema Diagram *Microfiltration Membrane*

Sumber: (Cui et al., 2008)

Pada penelitian Song et al., (2006) menggunakan batubara yang memiliki kandungan karbon yang tinggi, debu yang rendah serta merupakan bahan *volatile*. Batubara didapatkan dari Ningxia Coal, China. Sebelum digunakan, perlu adanya *pre-treatment* untuk batubara agar sesuai dengan kondisi yang ada. Sampel air limbah yang digunakan berasal dari industri *crude oil*.

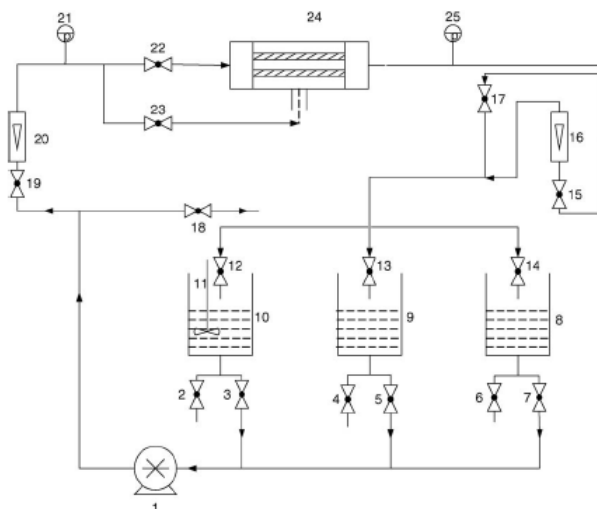
Ukuran untuk membran karbon divariasikan mulai dari 4, 11 dan 20 μm untuk mengetahui kemampuan penyerapan minyak dan lemak dalam limbah. Ukuran membran karbon berkaitan dengan ukuran pori-pori karbon, porositas dan nilai fluks. Hubungan antara ukuran pori-pori karbon dan nilai fluks dengan ukuran membran adalah berbanding lurus, sehingga semakin besar ukuran membran karbonnya, maka akan semakin besar ukuran pori-pori dan nilai fluks-nya. Berbeda halnya dengan porositas, semakin besar ukuran membran karbon maka akan semakin kecil porositasnya. Membran karbon apabila dilihat menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) memiliki struktur permukaan yang halus merata.

Gambar 4.6 merupakan reaktor menjelaskan bahwa ukuran pori-pori yang tinggi memiliki nilai fluks yang tinggi pula. Hal tersebut dikarenakan ukuran pori-pori yang besar mampu menahan partikel minyak dan lemak yang rata-rata berukuran 5

μm . Namun pada semua ukuran pori-pori terjadi penurunan hingga mencapai *steady state*. Pengaruh tekanan *transmembrane* terhadap nilai fluks adalah semakin besar tekanan yang diberikan maka nilai fluks awalnya juga semakin besar karena membutuhkan gaya yang lebih besar pula. Seiring dengan bertambahnya waktu kontak maka nilai fluks mengalami penurunan hingga mencapai titik yang konstan. Hal tersebut juga sama dengan pengaruh kecepatan aliran. Dapat disimpulkan bahwa kondisi yang optimum dalam penyerapan minyak dan lemak adalah ukuran pori-pori karbon 1 μm , tekanan *transmembrane* 0,1 Mpa dan kecepatan aliran sebesar 0,1 m/s. Penurunan konsentrasi minyak dan lemak mencapai lebih dari 97% dengan kondisi optimum tersebut, hal tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Hasil Effluen *Carbon Membrane*

Konsentrasi Influen Minyak dan Lemak (mg/l)	Konsentrasi Pemeat Minyak dan Lemak (mg/l)	Persentase Penolakan (%)	Nilai Fluks (L/m ² h)
120	2,7	97,8	64,3
250	2,74	98,9	60,7
400	5,6	98,6	58,2

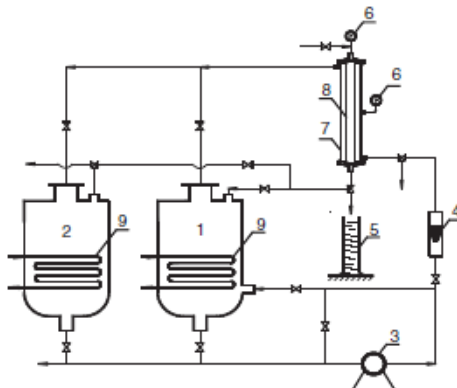


Gambar 4.6 Skema Pengolahan Membran

Sumber: (Song et al., 2006)

Membran dinamis mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah industri. Membran dinamis ini menggunakan tabung keramik yang sebelumnya telah dibersihkan terlebih dahulu. Dalam penelitian Yang et al., (2011) menggunakan empat jenis reaktor yang memiliki lapisan tunggal dan lapisan ganda. Sampel air limbah yang digunakan berasal dari industri minyak tanah. Larutan yang digunakan dalam membran berlapis tunggal adalah Kaolin, MnO_2 dan campuran keduanya, sedangkan untuk lapisan ganda terdiri dari larutan Kaolin yang telah disirkulasikan selama 30 menit dilanjutkan dengan larutan MnO_2 . Reaktor membran dengan lapisan tunggal MnO_2 memiliki efisiensi penurunan terendah dibandingkan dengan reaktor lainnya, karena larutan MnO_2 memiliki ukuran yang terbesar. Reaktor membran yang memiliki lapisan ganda mencapai kondisi stabil dengan nilai fluks terendah.

Konsentrasi larutan Kaolin dan MnO_2 berpengaruh pada nilai fluks. Apabila terlalu tinggi konsentrasi larutan maka nilai fluks akan semakin menurun pada kondisi stabil. Berbeda halnya dengan konsentrasi larutan yang terlalu sedikit belum membentuk lapisan yang stabil. Dosis optimum untuk larutan Kaolin dan MnO_2 pada reaktor berlapis ganda adalah 0,4 g/l dan 0,1 g/l. Konsentrasi minyak dan lemak juga mempengaruhi nilai fluks, semakin tinggi maka terjadi fluktuasi nilai fluks. Konsentrasi minyak dan lemak yang berkisar antara 0,1 – 1 g/l merupakan konsentrasi yang sesuai untuk reaktor membran berlapis ganda. Selain itu, reaktor membran berlapis ganda pada Gambar 4.7 berkerja efisien pada pH kondisi netral ataupun alkali, dan pada temperatur 283 – 313K.

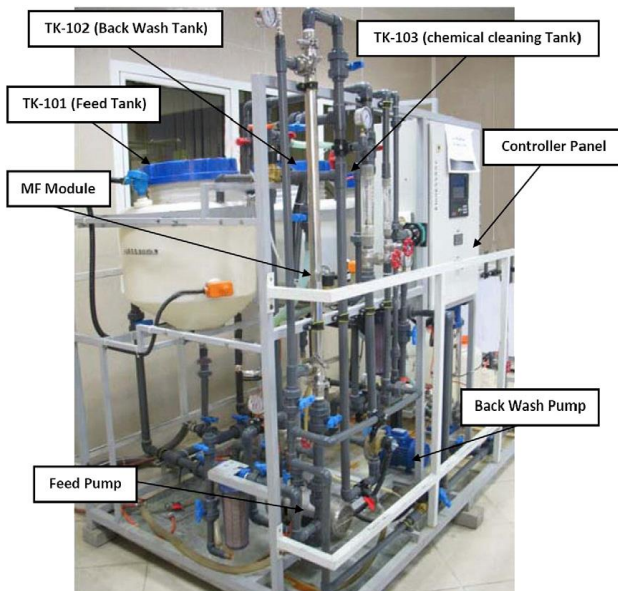


Gambar 4.7 Membran Dinamis Lapisan Ganda

Sumber: (Yang et al., 2011)

Mittal et al., (2011) telah melakukan penelitian *ceramic-polymeric composite membrane* dengan menggunakan tanah liat, Kaolin, *sodium carbonate*, *sodium metasilicate*, *boric acid* dan air. Sampel air limbah yang digunakan adalah limbah industri kilang minyak bumi dengan konsentrasi minyak dan lemak maksimal 200 mg/l. Semakin tinggi tekanan dan konsentrasi minyak dan lemak akan berakibat terhadap penolakan nilai fluks. Penyebab terjadinya hal tersebut adalah terbentuk partikel minyak dan lemak yang membuat suatu lapisan sekunder sehingga mengakibatkan mengecilnya pori membran. Membran jenis ini tidak membutuhkan biaya yang terlalu besar.

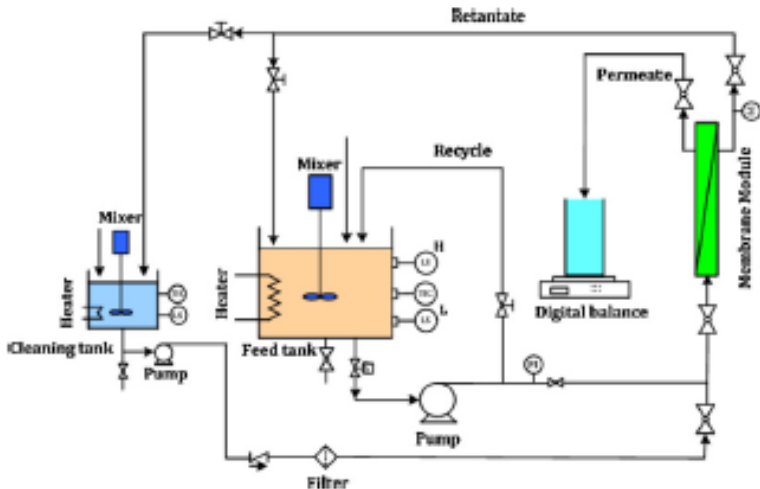
Penelitian *microfiltration* membran keramik oleh Abadi et al., (2011) menggunakan sampel air limbah industri kilang minyak bumi. Membran keramik ini mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak, TSS dan kekeruhan hingga 85%, 100% dan 98,6%. Namun, hal tersebut dipengaruhi oleh kondisi optimum pengoperasian reaktor membran keramik tersebut. Adapun kondisi optimum pengoperasian membran adalah pada tekanan 1,25 bar, kecepatan aliran 2,25 m/detik dan suhu 32,5°C. Proses *backwashing* juga diperlukan untuk menghilangkan *fouling*.



Gambar 4.8 Pilot Plant of Microfiltration Membran

Sumber: (Abadi et al., 2011)

Sarfraz et al., (2012) melakukan penelitian mengenai *Nano-Porous Membrane – Powdered Activated Carbon* (NPM-PAC). Sampel air limbah yang digunakan adalah limbah industri kilang minyak bumi. Penambahan PAC bertujuan untuk mencegah terjadinya *fouling*. Dosis optimum PAC adalah sebesar 300 ppm karena apabila lebih mengakibatkan penolakan nilai fluks. Kombinasi antara NPM dan PAC mampu menurunkan konsentrasi *Total Organic Carbon* (TOC) dan COD sebesar 90,4% dan 78,1%.

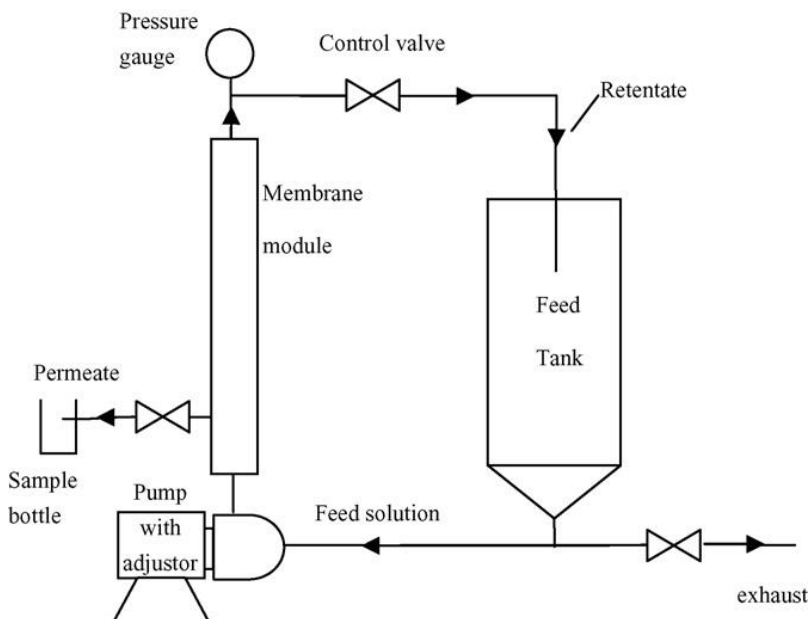


Gambar 4.9 Diagram Skema NPM-PAC

Sumber: (Sarfraz et al., 2012)

Hua et al., (2007) melakukan penelitian menggunakan *ceramic microfiltration membrane* dengan sampel air limbah industri *edible oil*. Kemampuan penyisihan *Total Organic Carbon* (TOC) berkisar antara 92,4% dan 98,6% dengan tekanan yang berkisar antara 0,05 MPa dan 0,3 MPa. Namun, pada tekanan lebih dari 0,2 MPa penurunan TOC menurun dari 98% ke 92% sehingga tidak disarankan untuk digunakan dalam tekanan tersebut. Kecepatan aliran yang semakin tinggi akan meningkatkan nilai fluks. Reaktor ini mampu menurunkan konsentrasi TOC hingga 97% dengan kecepatan aliran yang berkisar antara 0,21 m/detik hingga 1,68 m/detik. Konsentrasi influen TOC yang semakin tinggi juga akan meningkatkan kemampuan reaktor dalam menyisihkan polutan tersebut. Konsentrasi influen minyak dan lemak 250 mg/l

mampu tersisihkan hingga 95,8% dan terus meningkat mencapai 98% dengan konsentrasi 2000 mg/l. Reaktor juga berpengaruh terhadap perubahan pH, sebab dengan pH antara 3,8 dan 5,8 kemampuan penyisihan TOC meningkat dari 93% menuju 98%. Namun, dengan pH antara 5,8 dan 9,9 terjadi penurunan penyisihan TOC. Hal tersebut menunjukkan bahwa reaktor cenderung bekerja efisien pada kondisi asam.



Gambar 4.10 Skema Unit Pemisahan Membran Keramik
Sumber: (Hua et al., 2007)

4.1.5 Multi Soil Layering (MSL)

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Industri *Edible Oil* menggunakan *Multi Soil Layering* (MSL) yang terdiri dari unit sedimentasi, reaktor MSL, dan 1 bak kontrol. Komponen penyusun MSL adalah tanah andisol, sekam gergaji dan arang batok halus dengan perbandingan 5:1:1. Efisiensi penurunan minyak dan lemak dipengaruhi oleh HLR, semakin rendah HLR maka akan semakin tinggi penurunan minyak dan lemaknya. Karena laju dekomposisi zat organik membutuhkan waktu sehingga apabila limbah berada dalam reaktor lebih lama akan memberikan

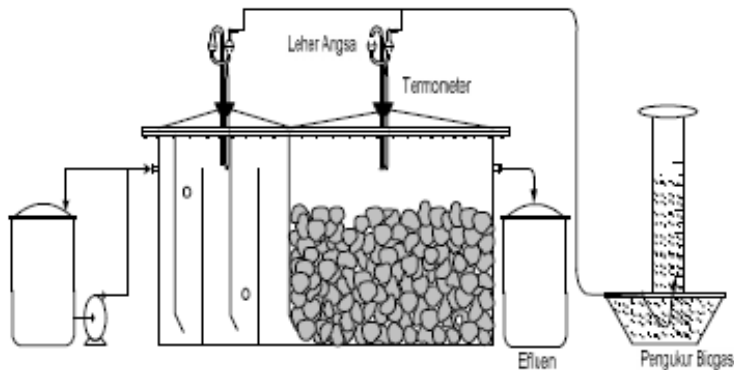
kesempatan untuk mendegradasinya. (Salmariza dan Sofyan, 2011)

4.2 Pengolahan Biologis

Pengolahan biologis merupakan pengolahan limbah dengan memanfaatkan aktivitas biologis. Pengolahan biologis bertujuan untuk menghilangkan substrat organik terlarut yang *biodegradable*, nitrogen dan fosforus. Mikroorganisme mampu mengubah substrat organik menjadi gas yang terlepas ke atmosfer dan menjadi lumpur aktif (Metcalf and Eddy, 2014). Berikut adalah contoh pengolahan minyak dan lemak limbah industri secara biologis:

4.2.1 Bioreaktor Hibrid Anaerob

Pengolahan minyak dan lemak dapat menggunakan proses anaerob. Proses anaerob merupakan proses yang kompleks dengan memanfaatkan berbagai jenis bakteri. Bioreaktor hibrid anaerob adalah sebuah reaktor yang merupakan gabungan dari sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Pada sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam media cair. Sedangkan pada sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*) mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam media pendukung. Sampel yang digunakan adalah limbah cair dari pabrik kelapa sawit. Reaktor ini memiliki volume sebesar 11340 ml dengan menggunakan media cangkang sawit, karena cangkang sawit memiliki tekstur kasar, kuat dan mudah didapatkan (A. Ahmad et al., 2011).



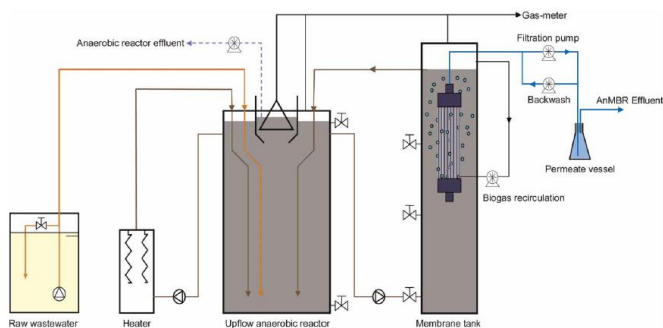
Gambar 4.11 Bioreaktor Hibrid Anaerob

Sumber: (A. Ahmad et al., 2011)

Cara kerja bioreaktor hibrid anaerob adalah melalui proses *start-up*. Limbah cair dialirkan menuju reaktor dengan kecepatan 2,26 liter/hari, kemudian diresirkulasikan. Tujuan dari proses resirkulasi adalah mengontrol pertumbuhan mikroorganisme agar stabil. Apabila reaktor telah memasuki masa *steady state*, reaktor dapat dioperasikan. Kemampuan reaktor dalam menurunkan konsentrasi minyak dan lemak bergantung pada waktu tinggal hidrolis (WTH). Semakin lama waktu tinggal hidrolisnya menyebabkan kemampuan mikroorganisme mendegradasi minyak dan lemak semakin baik. Dari penelitian (A. Ahmad et al., 2011) menjelaskan bahwa reaktor ini mencapai titik optimum penurunan konsentrasi minyak dan lemak sebesar 96,05% dengan waktu tinggal hidrolis 4 hari.

4.2.2 Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR)

Anaerobic Membrane Bioreactor merupakan unit pengolahan dengan menggunakan penyaringan membran dalam kondisi anaerobik. Unit AnMBR memiliki kemampuan mengolah senyawa organik yang lambat terurai dengan bantuan biomassa sehingga kualitas effluennya baik. Selain itu AnMBR menghasilkan lumpur dalam jumlah relatif kecil. Namun, unit AnMBR memiliki kekurangan yaitu daya tampung yang relatif sedikit hanya 0,76 m³ serta membutuhkan pengoperasian dan perawatan yang rumit. Sampel yang digunakan berasal dari industri pengolahan snack. Karakteristik limbah cair yang dihasilkan adalah minyak dan lemak sebesar 4400-6000 mg/l, COD sebesar 8200-22000 mg/l, BOD₅ sebesar 4900-10300 mg/l, *Total Kjeldahl Nitrogen* (TKN) sebesar 75-380 mg/l dan PO₄³⁺ sebesar 56-160 mg/l.



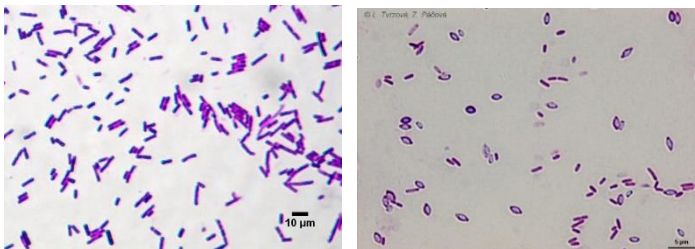
Gambar 4.12 Skema Anaerobic Membrane Bioreactor

Sumber: (Diez et al., 2012)

Mekanisme kerja dari AnMBR adalah limbah yang masuk ke dalam *Upflow anaerobic reactor* harus dalam temperatur antara 33-36°C. Setelah masuk ke dalam reaktor tersebut terdapat alat pengumpul biogas yang berguna untuk menangkap gas yang terdapat di permukaan air limbah. Effluen dari *Upflow anaerobic reactor* masih mengandung VSS sebesar 11400 mg/l dengan kandungan minyak dan lemak sebesar 1,2 g/l. Waktu filtrasi yang semakin bertambah akan berpengaruh pada nilai fluks dan tekanan. Nilai fluks akan menurun sedangkan tekanan akan bertambah seiring dengan meningkatnya waktu filtrasi. Waktu filtrasi yang dipilih adalah 11 menit karena penurunan nilai fluks terkecil dari menit sebelumnya. Nilai fluks yang dipilih adalah 8 l/m²h dengan tekanan 26,5 bar karena apabila lebih dari itu terjadi *fouling*. Pra relaksasi membutuhkan waktu sebanyak 10 detik agar kondisi reaktor stabil setelah proses filtrasi. Waktu untuk *backwash* sebanyak 20 detik, karena semakin lama akan menyebabkan udara masuk ke kolom permeat sehingga terjadi penyumbatan. Sedangkan waktu untuk pasca relaksasi sebesar 70 detik agar pembersihan membran dapat berjalan efisien. Hasil effluen dari AnMBR adalah minyak dan lemak mampu terdegradasi semua pada *organic loading rate* 5,1 kg COD/m³hari dan penyisihan konsentrasi COD sebesar 97% (Diez et al., 2012).

4.2.3 *Microbial Isolates*

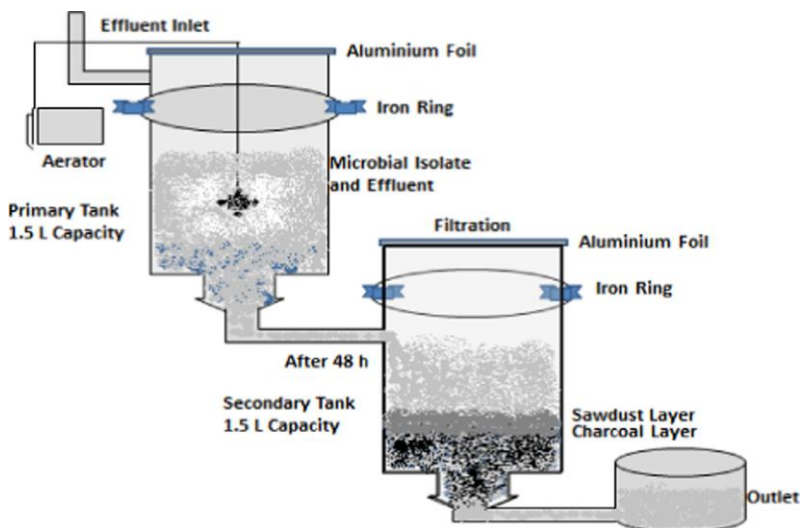
Garcha et al., (2016) meneliti bahwa bakteri *Bacillus cereus* strain W22 dan *Brevibacillus brevis* mampu mendegradasi minyak dan lemak dalam limbah industri susu. Gambar 4.13 merupakan hasil pewarnaan gram dari kedua bakteri. Kemampuan penurunan konsentrasi minyak dan lemak sebesar 88,5% dan 90% untuk *Bacillus cereus* strain W22 dan *Brevibacillus brevis*.



Gambar 4.13 *Bacillus cereus* dan *Brevibacillus brevis*

Sumber: (Garcha et al., 2016)

Pengolahan dengan memanfaatkan aktivitas bakteri mampu menurunkan konsentrasi polutan air limbah. Jamur (DS1), bakteri (DS2), bakteri (DS3) serta campuran antara bakteri dan jamur (DS4) mampu mendegradasi komponen minyak dan lemak yang dihasilkan oleh industri makanan. Unit pengolahan limbah ini terdapat pada Gambar 4.14 terdiri atas dua tangki, yaitu tangki primer dan tangki sekunder. Pada tangki primer terdapat penambahan 10 ml mikroorganisme dan aerator yang berfungsi untuk mengatur jumlah oksigen terlarut dalam limbah dan menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme. Proses aerasi berlangsung selama 48 jam dan pengendapan selama 1 jam. Setelah itu air limbah dialirkan menuju tangki sekunder. Pada tangki sekunder terdapat serbuk batubara dan serbuk gergaji di lapisan bawah sebanyak 5 cm, sehingga terjadi proses filtrasi.



Gambar 4.14 Penelitian *Microbial Isolates*

Sumber: (Porwal et al., 2015)

Influen minyak dan lemak sebesar 135,8 mg/liter dapat diturunkan melalui proses aerasi sebanyak 44,7; 15,1; 37,41 dan 59,13% oleh DS1, DS2, DS3 dan DS4. Proses filtrasi mampu menurunkan minyak dan lemak sebanyak 97,42; 94,48; 96,91 dan 98,16% oleh DS1, DS2, DS3 dan DS4. Minyak dan lemak berguna

sebagai bahan makanan oleh mikroorganisme. Sehingga dapat disimpulkan bahwa mikroorganisme yang berupa campuran antara jamur (DS1) dan bakteri (DS3) dengan perbandingan 1:1 merupakan yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi minyak dan lemak (Porwal et al., 2015).

Santisi et al., (2015) menurunkan minyak dan lemak limbah *crude oil* dengan aktivitas bakteri. Jenis bakteri yang digunakan adalah *Alcanivorax* genus, *Pseudomonas* dan *Rhodococcus*. Ketiga jenis bakteri itu mampu menguraikan komponen minyak dan lemak limbah *crude oil*. *Alcanivorax* genus merupakan bakteri yang mampu berkembang biak di limbah *crude oil* karena sumber nutrisinya adalah limbah itu sendiri. Tingkat kematian *Alcanivorax* genus juga kecil. Berbeda halnya dengan *Pseudomonas* dan *Rhodococcus*, kedua jenis bakteri tersebut mendegradasi limbah melalui metabolisme sintropi, dimana degradasi polutan terjadi di rantai metabolisme.

Bakteri *Serratia marcescens* mampu mendegradasi minyak dan lemak yang terdapat dalam limbah industri pengolahan makanan. Oleh karena itu, bakteri *Serratia marcescens* dapat diaplikasikan sebagai pengolahan biologis di iklim tropis. Konsentrasi influen minyak dan lemak limbah tersebut mencapai 42974 mg/l. Selain itu, bakteri tersebut menghasilkan biosurfaktan. (Fulazzaky et al., 2016).

Jamur *Phanerochaete chrysosporium* merupakan jenis jamur yang mampu mendegradasi limbah *crude oil* di dalam air yang memiliki salinitas tinggi. Apabila ditambahkan surfaktan NAR-111-2 maka penurunan konsentrasi minyak dan lemaknya mencapai 75,5% dalam salinitas 20 g/l dan 40,3 dalam salinitas 40 g/l (Behnood et al., 2014).

Bakteri *Rhodococcus erythropolis* PR4 mampu mendegradasi minyak dan lemak yang terkandung dalam limbah pengolahan hewan ternak. Pada kondisi pH lebih dari atau sama dengan 7, efisiensi penurunan konsentrasi minyak dan lemak semakin meningkat. Hal tersebut karena bakteri *Rhodococcus erythropolis* PR4 cenderung berkembang biak pada pH netral (Kis et al., 2015).

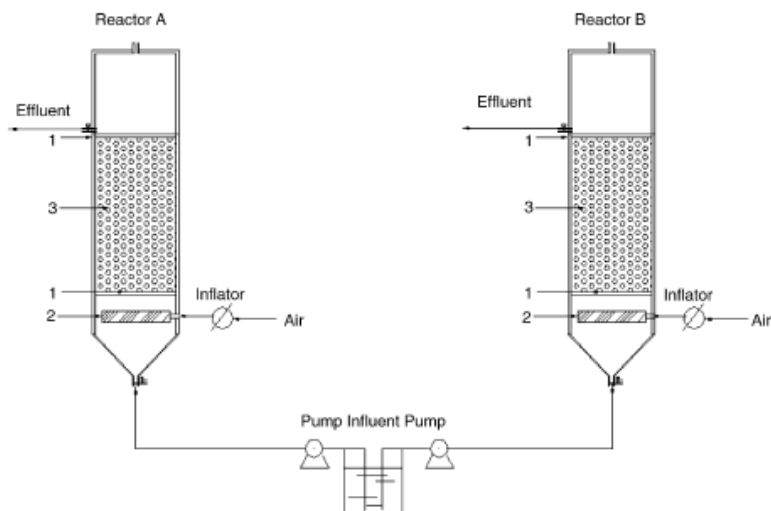
Bakteri *Enterobacter cloacae*, *Enterobacter hormaechei* dan *Pseudomonas stutzeri* merupakan jenis bakteri yang mampu mendegradasi kerosin sebesar 67,43%, 12,98% dan 54,14%. Sampel limbah berasal dari kilang di Bandar Abbas, Iran. Ketiga jenis bakteri tersebut mampu berkembang biak secara cepat dalam

waktu 1 hari, sehingga dapat menjadi salah satu alternatif dalam bioremediasi. Suhu 28°C adalah suhu optimum untuk perkembangan bakteri tersebut. Selain itu, *Enterobacter hormaechei* dan *Pseudomonas stutzeri* mampu mendegradasi sulfur (Mojarad et al., 2016).

4.2.4 Biological Aerated Filter

Biological Aerated Filter merupakan sebuah reaktor yang dapat menurunkan polutan organik dengan *Hydraulic Loading Rates* (HLR) yang tinggi, konsentrasi biomassa yang tinggi, menghasilkan lumpur yang sedikit dan mampu mengembangbiakkan mikroorganisme. Terdapat dua jenis bakteri yang digunakan dalam reaktor BAF yaitu B350 (reaktor A) dan B350M (reaktor B). Sampel limbah yang digunakan berasal dari industri kilang minyak bumi dengan konsentrasi effluen sebesar 20mg/l.

Reaktor B yang mengandung B350M mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak sebesar 94% dengan waktu kontak 4 jam dan HLR 1,07 kg COD/m³hari. Kedua jenis bakteri tersebut mampu mendegradasi komponen penyusun minyak dan lemak dengan kondisi minim nutrisi dan tingkat salinitas yang tinggi (Zhao et al., 2006).



Gambar 4.15 Skema Diagram BAF

Sumber: (Zhao et al., 2006)

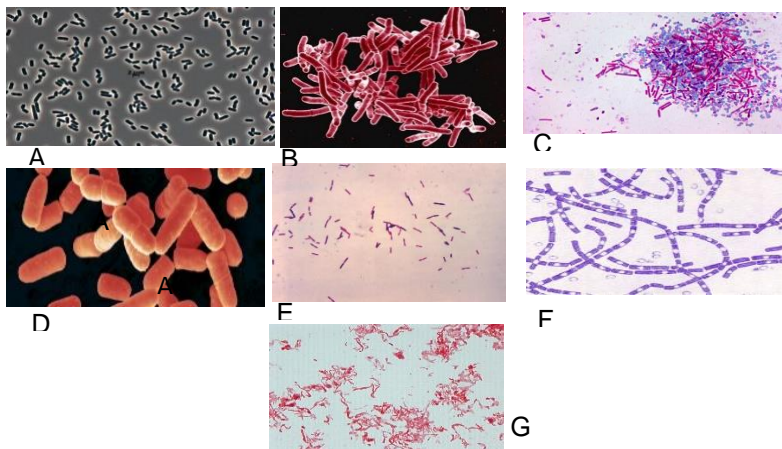
4.2.5 Anaerobic Co-Digestion

Unit pengolahan ini menggunakan sampel air limbah dari lumpur aktif Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dan sampah dapur. Unit ini mampu mendegradasi komponen minyak dan lemak yang terdapat dalam limbah. Terjadi proses produksi biogas apabila menggunakan unit ini, untuk memperbanyak produk biogas yang dihasilkan perlu adanya *pre-treatment*. Terdapat dua jenis *pre-treatment* yang akan dilakukan yaitu dengan menggunakan ultrasonik dan panas-kimia. Ternyata *pre-treatment* panas-kimia mampu menghasilkan lebih banyak biogas dibandingkan dengan ultrasonik. Kondisi optimum *pre-treatment* panas-kimia adalah dengan suhu 55°C dan pH 10 (Li et al., 2013).

4.2.6 Mikrokosmos

Mikrokosmos merupakan salah satu permodelan dari teknik bioremediasi secara in situ (Nugroho, 2006). Sampel air limbah yang digunakan adalah *sludge crude oil* dan konsorsium bakteri yang berasal dari tanah yang terkontaminasi oleh *sludge* minyak bumi. Mikrokosmos dibuat dari kotak kayu dengan dimensi 30x30x30 cm. Kotak kayu berisi tanah, *sludge* minyak bumi, pupuk NPK sebagai nutrisi dan sekam sebagai *bulking agent*.

Bakteri yang terkandung dalam tanah terkontaminasi mampu mendegradasi minyak dan lemak. Ada 7 jenis bakteri, 5 jenis bakteri bersifat aerobik dan 2 jenis yang bersifat anaerobik. Berikut adalah Gambar 4.16 dari setiap jenis bakteri:



Gambar 4.16 Jenis Bakteri Pendegradasi Minyak dan Lemak

Sumber: Nugroho, 2006

Keterangan:

A) *Bacillus badius*

B) *Pasteurella avium*

C) *Bacillus circulans*

D) *Bacillus coagulans*

E) *Bacillus firmus*

F) *Bacillus epiphitus*

G) *Streptobacillus moniliformis*

Proses degradasi minyak dan lemak merupakan kombinasi dari enzim, sel dan komunitas dari aktivitas bakteri tersebut. Bakteri yang dapat bertahan hidup di lingkungan tercemar memanfaatkan kontaminan untuk kelangsungan hidupnya. Sehingga hal tersebut merupakan seleksi alam bagi bakteri yang ada di lingkungan tercemar tersebut (Khan et al., 2006).

4.3 Pengolahan Kimia

Pengolahan kimia adalah pengolahan limbah dengan menggunakan bahan kimia untuk menurunkan konsentrasi polutan. Berikut adalah salah satu contoh pengolahan minyak dan lemak secara kimia, yaitu koagulasi.

Koagulasi merupakan proses pengolahan yang dapat menstabilkan partikel-partikel koloid dengan cara membentuk menjadi partikel yang dapat diendapkan sehingga dapat terpisahkan (Metcalf and Eddy, 2014). Sebuah industri minyak kelapa sawit yang terletak di Sungai Kechil, Nibong Tebal menghasilkan air limbah dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.5 Karakteristik Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit

Parameter	Konsentrasi (mg/l)
<i>Oil and grease</i>	4000-6000
<i>Biological oxygen demand</i>	25000
<i>Chemical oxygen demand</i>	50000
<i>Total solids</i>	40500
<i>Suspended solids</i>	18000
<i>Total volatile solids</i>	34000
<i>Ammonicals nitrogen</i>	35
<i>Total nitrogen</i>	750

Sumber: (A. L. Ahmad et al., 2006)

Berdasarkan A. L. Ahmad et al., (2006) melakukan penelitian berskala laboratorium mengenai pengolahan minyak dan lemak menggunakan koagulasi dengan *pre-treatment* terlebih dahulu. Bahan koagulan yang digunakan dalam penelitian ini ada

tiga macam yaitu: kitosan, alum, dan poly-aluminum chloride (PAC). Zat kitosan berbentuk bubuk dengan ukuran pori kurang dari 120, didapatkan dari Hunza Pharmaccutical Sdn. Bhd., Malaysia. Sedangkan untuk alum dan PAC berbentuk bubuk yang memiliki ukuran pori kurang dari 80 dan 120, didapatkan dari Quicklab Sdn. Bhd., Malaysia. *Pre-treatment* dilakukan selama 1 jam untuk menstabilkan suhu air limbah yang mencapai 80-90°C menjadi suhu ruangan serta mengendapkan *total solids*. Sampel dimasukkan ke dalam *beaker glass* sebanyak 1 liter, masing-masing sampel ditambahkan dosis koagulan yang berbeda-beda mulai dari zat kitosan sebanyak 0,08-0,8 gram/liter, alum 0,5-5 gram/liter, dan PAC 0,5-5 gram/liter. Pengadukan sampel menggunakan *Stuart Science Flocculator* (SW1) dengan waktu pengadukan yang bervariasi mulai dari 5- 60 menit berkecepatan 100 rpm.

Dosis koagulan berpengaruh pada penurunan polutan air limbah. Dosis koagulan yang paling optimal dalam menurunkan konsentrasi minyak dan lemak, serta *suspended solid* adalah untuk kitosan sebesar 0,5 gram/liter, alum sebesar 8 gram/liter dan PAC sebesar 6 gram/liter. Semakin tinggi densitas koagulan maka semakin sedikit dosis yang diperlukan untuk menurunkan konsentrasi minyak dan lemak. Kitosan memiliki densitas yang tertinggi dibandingkan yang lain sehingga mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak sebesar 99%. Selain itu, sampel memiliki pH 4,5 yang menunjukkan keadaan asam sehingga kitosan mampu menstabilkan muatan negatif yang ada dalam air limbah, sebab kitosan merupakan *polyelectrolyte* linear yang bermuatan positif. *Suspended solid* yang terdapat dalam air limbah mampu dibentuk menjadi flok sehingga mudah diendapkan oleh kitosan.

Waktu pengadukan maupun pengendapan juga akan mempengaruhi penurunan polutan air limbah. Kitosan mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak 99% serta *suspended solid* menjadi 70 mg/liter selama 15 menit pengadukan, sedangkan untuk alum dan PAC membutuhkan waktu selama 30 menit pengadukan. Hal tersebut dikarenakan minyak dan lemak telah teradsorpsi oleh kitosan menjadi gugus fungsi amina. Flok yang terbentuk dengan kitosan memiliki ikatan lebih kuat dibandingkan dengan alum dan PAC. Akibat dari ikatan yang lemah, flok mudah terpecah sehingga meningkatkan kekeruhan air limbah. Setelah pengadukan, waktu untuk pengendapan juga penting dalam

proses koagulasi. Untuk mencapai penurunan sebesar 99% dibutuhkan waktu untuk zat kitosan sebanyak 20 menit, alum sebanyak 60 menit dan PAC sebanyak 50 menit. Kitosan mampu mengendapkan dengan cepat karena flok yang terbentuk berukuran besar dan berat.

Faktor yang mempengaruhi penurunan konsentrasi polutan terakhir adalah pH. Sampel air limbah memiliki $\text{pH} \leq 4,5$. Koagulan kitosan, alum dan PAC menunjukkan kemampuan menurunkan minyak dan lemak lebih dari 95% pada pH 4. Hal tersebut dikarenakan tingkat keasaman yang tinggi mampu memecah molekul minyak dan lemak. *Suspended solid* dalam kondisi asam akan stabil sehingga pada pH 4 kitosan mampu menurunkan hingga 23 mg/liter, alum hingga 97 mg/liter dan PAC hingga 61 mg/liter.

Berdasar hasil uraian diatas, koagulan yang paling baik dalam menurunkan minyak dan lemak serta *suspended solid* adalah kitosan. Kitosan memiliki beberapa keunggulan antara lain bahan alam yang ramah lingkungan, pengolahan yang aman dan tidak beresiko membahayakan bagi makhluk hidup dan lingkungan sekitar. Koagulan kitosan berkerja optimum dalam pH 4,5 dengan dosis 0,5gram/liter, pengadukan berkecepatan 100 rpm selama 15 menit, dan pengendapan selama 20 menit.

Koagulasi dan flokulasi merupakan salah satu pengolahan yang mampu menurunkan konsentrasi minyak dan lemak dengan optimum. Berdasarkan penelitian (Daud et al., 2015) yang berskala laboratorium menjelaskan bahwa dosis koagulan berperan penting dalam penurunan konsentrasi polutan. Penurunan konsentrasi polutan akan semakin besar bila dosis koagulan bertambah, namun apabila telah mencapai dosis optimum, efisiensi penurunan aka semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan koagulan mulai bersifat jenuh. Koagulan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *polyaluminum chloride*, *ferric chloride* and *ferric sulfate*. Sedangkan air limbah yang digunakan adalah industri biodiesel. Proses pengolahan ini dilakukan pada pH 7, dengan kecepatan pengadukan 150 rpm selama 4 menit dan 20 rpm selama 20 menit serta waktu pengendapan selama 30 menit. Konsentrasi awal minyak dan lemak adalah 2680 mg/l. Ketika mencapai dosis koagulan optimum, persentase penurunan mampu mencapai 97% oleh PAC, 99% oleh alum, 98% oleh ferric chloride dan 94% oleh ferric sulphate.

Limbah hasil pencucian mobil diolah melalui proses koagulasi (Asha et al., 2016). Koagulasi dilakukan menggunakan 3 jenis koagulan yaitu serbuk gergaji, tebu dan alum. Reaktor yang digunakan untuk koagulan alami adalah *filter bed*. Variasi ketinggian kogulan akan mempengaruhi persentase penurunan minyak dan lemak, semakin tinggi maka persentase penurunannya akan meningkat pula. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak koagulan yang mampu menyerap polutan, namun luas permukaan per satuan kogulan juga berpengaruh. Serbuk gergaji yang memiliki tekstur lebih halus dan berpori-pori besar lebih baik dibandingkan dengan tebu. Serbuk gergaji mampu menurunkan konsentrasi sebanyak 93,25% pada ketinggian 9 cm di reaktor, sedangkan tebu menurunkan konsentrasi sebanyak 91,57% minyak dan lemak.

Dari hasil uraian masing-masing pengolahan, dapat diketahui mengenai batasan konsentrasi dalam konfigurasi sistem. Konfigurasi sistem pengolahan fisik-biologis mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai dari 20 mg/l hingga 21600 mg/l, konfigurasi sistem pengolahan kimia-biologis mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai hingga 2680 mg/l, sedangkan konfigurasi sistem pengolahan fisik-kimia mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai dari 26 mg/l hingga 15000 mg/l.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri

Kelompok Jenis Industri	Komponen Peyusun Minyak dan Lemak	Jenis Industri	Jenis Pegolahan	Konsentrasi infuen Minyak dan Lemak	Efisiensi Pegolahan (%)	Sumber
Industri Makanan dan Minuman	Oleic (C18:1) , Linoleic (C18:2), Palmitic (C16:0) dan Stearic (C18:0)	Industri Minuman	Grease Trap + OD	20	75	Indriyati dan Susanto, 2009
		Industri Pengolahan Makanan	Grease ECO	-	99,7	Ankyu and Noguchi, 2014
		Industri Rumah Makan	Grease Trap + Bakteri	894	97,4	Nisola et al., 2009
		Hotel	Adsorpsi Kulit jagung	148,87	70,44	Abuzar et al., 2012
		Industri Pengolahan Makanan	Adsorpsi Tebu dan Kulit Pisang	148,79	97	Hamid et al., 2015
		Industri Pengolahan Makanan Ringan	<i>Anaerobic Membrane Bioreactor</i>	6000	100	Diez et al., 2012
		Industri Pengolahan Makanan	<i>Microbial Isolates</i>	154,9	98,16	Porwal et al., 2015
		Industri Susu	<i>Bacillus cereus</i> strain W22 dan <i>Brevibacillus brevis</i>	218-700	90	Garcha et al., 2016
		Industri Pengolahan Makanan	Bakteri <i>Serratia marcescen</i>	42974	54,86	Fulazzaky et al., 2016

Kelompok Jenis Industri	Komponen Peyusun Minyak dan Lemak	Jenis Industri	Jenis Pegolahan	Konsentrasi infuen Minyak dan Lemak	Efisiensi Pegolahan (%)	Sumber
		Industri Pengolahan Makanan	<i>Anaerobic Co-Digestion</i>	941	74,7	Li et al., 2013
		Industri Pengolahan Makanan	Bakteri <i>Rhodococcus erythropolis</i> PR4	-	100	Kis, 2015
	Lauric (C12:0), Myristic (14:0), Palmitic (16:0)	Industri Minyak Kelapa Sawit	<i>Induced Air Flotation dan Modified Induced Air Flotation</i>	10000	99	Painmanakul et al., 2010
		Industri Minyak Kelapa Sawit	Bioreaktor Hibrid Anaerob	12000	96,05	A. Ahmad et al., 2011
		Industri Minyak Kelapa Sawit	Koagulasi	4000-6000	98	A. L. Ahmad et al., 2006
		Industri Minyak Kelapa Sawit	Dissolved Air Flotation	7000-15000	99,6	Rattanapan et al., 2011
Industri Minyak Bumi	Alkanes (C12-C30) contoh squalene dan carotene, polycyclic aromatic	Industri Minyak Bumi	Dissolved Air Flotation	-	90	Al Shamrani et al., 2002
		Industri <i>Crude Oil</i>	<i>Microfiltration Carbon Membrane</i>	400	97	Song et al., 2006
		Industri Minyak Tanah	Membran Dinamis	100-4000	99	Yang et al., 2011
		Industri Kilang Minyak Bumi	<i>Microfiltration</i> Membran Keramik	26	85	Abadi et al., 2011

Kelompok Jenis Industri	Komponen Peyusun Minyak dan Lemak	Jenis Industri	Jenis Pegolahan	Konsentrasi influen Minyak dan Lemak	Efisiensi Pegolahan (%)	Sumber
	hydrocarbon s (PAH)	Industri Kilang Minyak Bumi	<i>Ceramic-Polymeric Composite Membrane</i>	50-200	93	Mittal et al, 2011
		Industri Kilang Minyak Bumi	<i>Nano-Porous Membrane – Powdered Activated Carbon</i>	52	71,5	Sarfraz et al., 2012
		Industri Kilang Minyak Bumi	<i>Biological Aerated Filter</i>	20	94	Zhao et al., 2006
		Industri <i>Edible Oil</i>	<i>Microfiltration</i> Membran Keramik	250-1000	92,4	Hua et al., 2007
		Industri <i>Edible Oil</i>	<i>Multi Soil Layering</i>	58-67	80	Salmariza dan Sofyan, 2011
		Industri <i>Crude Oil</i>	<i>Alcanivorax</i> genus, <i>Pseudomonas</i> dan <i>Rhodococcus</i>	-	97	Santisi et al., 2015
		Industri <i>Crude Oil</i>	Jamur <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	-	75,6	Behnood et al., 2014
		Industri <i>Crude Oil</i>	Bakteri <i>Enterobacter cloacae</i> , <i>Enterobacter hormaechei</i> dan <i>Pseudomonas stutzeri</i>	-	67,43	Mojarad et al., 2016
		Industri <i>Crude Oil</i>	Mikrokosmos	-	88,72	Nugroho, 2006
		Industri Biodiesel	Koagulasi-Flokulasi	2680	99	Daud et al., 2015
Indusri Lain- lain		Industri Pembangkit Listrik	Flotasi lumpur aktif	21600	97,92	Suyasa dan Arsa, 2013
		Industri Petrokimia	<i>Microfiltration Membrane</i>	500	99	Cui et al., 2008

Kelompok Jenis Industri	Komponen Peyusun Minyak dan Lemak	Jenis Industri	Jenis Pegolahan	Konsentrasi infuen Minyak dan Lemak	Efisiensi Pegolahan (%)	Sumber
		Industri Pencucian Mobil	Koagulasi	135-190	93,25	Asha et al., 2016

Tabel 4.7 Pengolahan Fisik Minyak dan Lemak Limbah Industri

Nama Pengolahan	Keunggulan	Kelemahan
<i>Grease Trap</i>	<p>Minyak dan lemak hasil pemisahan dapat dimanfaatkan kembali</p> <p>Memiliki umur pakai yang relatif lama</p> <p>Biaya operasional dan perawatan rendah</p> <p>Lahan yang dibutuhkan tidak terlalu luas</p> <p>Menghasilkan lumpur yang sedikit</p> <p>Dapat dikonfigurasi dengan pengolahan biologis</p>	<p>Harus dalam keadaan laminar</p> <p>Tidak dapat meremoval polutan yang terlarut</p> <p>Perlu penampungan/ pengolahan minyak dan lemak lanjutan</p>
Adsorpsi menggunakan kulit jagung/tebu/batan gpisang	<p>Adsorben yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan</p> <p>Waktu kontak yang relatif singkat < 90 menit</p> <p>Biaya operasional dan perawatan rendah</p>	<p>Mampu meremoval dengan kondisi influen yang rendah</p> <p>Perlu regenerasi adsorban</p>
Flotasi	<p>Dapat dikonfigurasi dengan pengolahan biologis maupun kimia</p> <p>Mampu meremoval dengan kondisi influen yang tinggi</p> <p>Pemisahan dapat dilakukan secara kontinyu</p>	<p>Operasional dan perawatan yang mahal</p> <p>Memerlukan energi yang besar</p> <p>Lahan yang dibutuhkan luas</p>
Teknologi Membran	<p>Mampu meremoval dengan kondisi influen yang tinggi</p> <p>Mudah dalam <i>scale up</i></p>	<p>Lahan yang dibutuhkan luas</p> <p>Memerlukan proses lanjutan berupa <i>backwashing</i></p>

Nama Pengolahan	Keunggulan	Kelemahan
	Pemisahan dapat dilakukan secara kontinyu	Membutuhkan tenaga ahli
<i>Multi Soil Layering</i>	Biaya operasional dan perawatan rendah Operasional dan perawatan mudah	Lahan yang dibutuhkan luas Umur pakai tidak terlalu lama Mampu meremoval dengan kondisi influen yang rendah

Tabel 4.8 Pengolahan Biologis Minyak dan Lemak Limbah Industri

Nama Pengolahan	Keunggulan	Kelemahan
Biorektor Hibrid Anaerob	Mampu meremoval dengan kondisi influen yang tinggi Biaya operasional dan perawatan rendah Menghasilkan produk samping yaitu biogas	Membutuhkan waktu <i>start-up</i> yang lama Waktu kontak relatif laam
<i>Anaerobic Membrane Bioreactor</i>	Menghasilkan lumpur yang sedikit Menghasilkan produk samping yaitu biogas	Memerlukan proses lanjutan berupa backwashing Membutuhkan tenaga ahli
<i>Bakteri atau jamur</i>	Mampu meremoval dengan kondisi influen yang tinggi Tidak membutuhkan energi yang besar Biaya operasional dan perawatan rendah	Membutuhkan tenaga ahli Lahan yang dibutuhkan luas Membutuhkan waktu start-up yang lama
<i>Biological Aerated Filter</i>	Menghasilkan lumpur yang sedikit Mampu meremoval dengan kondisi influen yang tinggi	Membutuhkan energi yang besar Membutuhkan tenaga ahli Lahan yang dibutuhkan luas

Tabel 4.9 Pengolahan Kimia Minyak dan Lemak Limbah Industri

Nama Pengolahan	Keunggulan	Kelemahan
Koagulasi	Mampu meremoval dengan kondisi influen yang tinggi Lahan yang dibutuhkan tidak terlalu luas	Biaya operasional dan perawatan yang tinggi Effluen dapat mengandung polutan dari koagulan

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

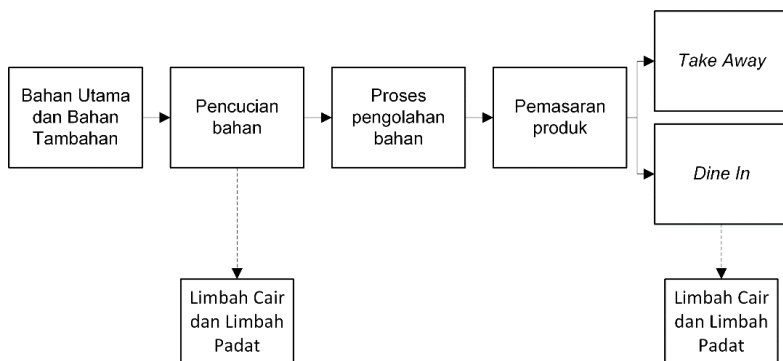
BAB 5

STUDI KASUS

Industri yang menjadi pokok bahasan studi kasus ini adalah dua jenis industri, yaitu industri makanan dan minuman serta industri pengolahan minyak bumi. Pemilihan kedua industri tersebut sebagai pokok bahasan studi kasus karena kedua industri tersebut mewakili kelompok jenis industri yang telah dibahas pada bab 4. Pemilihan lokasi industri makanan dan minuman adalah di Kota Surabaya, sedangkan untuk industri minyak bumi berada di Kabupaten Pasuruan.

5.1 Industri Rumah Makan

Industri rumah makan yang akan menjadi pembahasan dalam studi kasus ini merupakan salah satu rumah makan yang terletak di Surabaya. Rumah makan ini menyediakan berbagai makanan cepat saji, dengan menu olahan utama berupa ayam. Bahan utama dari rumah makan ini adalah ayam dan beras. Sedangkan bahan tambahannya adalah sayuran, buah-buahan, kentang, roti dan pasta. Bahan utama dan bahan tambahan dibersihkan terlebih dahulu sebelum dimasak. Proses pencucian dan pengolahan untuk menjadi bahan masakan dilakukan di dapur rumah makan tersebut. Rumah makan tersebut melayani pembelian makan untuk dibawa pulang (*take away*) maupun makan di tempat (*dine in*).



Gambar 5.1 Proses Produksi Industri Rumah Makan X

Pada saat proses pencucian bahan menghasilkan limbah cair berupa air bekas cucian dan limbah padat berupa sisa bahan utama maupun tambahan yang tidak dapat dimanfaatkan. Proses pengolahan bahan utama adalah menanak nasi dan menggoreng ayam. Tidak ada limbah yang dihasilkan dari kedua proses pengolahan tersebut. Proses pengolahan bahan tambahan juga tidak menghasilkan limbah. Adapun untuk proses pemasaran produk berupa makanan dan minuman ada dua cara, yaitu *take away* dan *dine in*. Apabila konsumen membeli untuk *take away* maka makanan dan minuman akan dimasukkan ke dalam kemasan sehingga tidak akan menghasilkan limbah. Berbeda halnya dengan *dine in*, konsumen akan menyantap makanan dan minuman di lokasi. Makanan dan minuman disajikan dalam piring dan gelas sehingga perlu proses. Limbah cair hasil *dine in* berasal dari air bekas cucian serta sisa minuman. Sedangkan limbah padatnya berasal dari sisa makanan.

Rumah makan X tidak memiliki pengolahan limbah, sehingga semua limbah cair yang dihasilkan dibuang langsung ke badan air. Pembuangan limbah secara langsung ke badan air dapat mencemari lingkungan dan melanggar peraturan yang berlaku. Pencemaran lingkungan dapat berupa terbentuknya lapisan yang menghalangi masuknya cahaya matahari ke dalam badan air sehingga pertumbuhan makhluk hidup yang ada di badan air mengalami gangguan. Selain itu, akan menimbulkan bau yang tak sedap di sekitar badan air. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013, baku mutu untuk industri rumah makan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.1 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Konsentrasi Maksimum (mg/l)
BOD ₅	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan Lemak	10
pH	6 - 9

Sebelum menentukan jenis pengolahan yang dapat diaplikasikan, perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik limbah yang dihasilkan. Menurut Safitri (2016), karakteristik awal dari

limbah industri rumah makan dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut:

Tabel 5.2 Karakteristik Awal Limbah Industri Rumah Makan

Parameter	Konsentrasi (mg/l)
TSS	622
pH	5,95
COD	988
BOD	620
PV	74
Minyak dan Lemak	6971

Industri rumah makan X terletak diantara pemukiman warga sehingga memerlukan jenis pengolahan yang tidak menimbulkan bau yang mengganggu lingkungan sekitar. Selain itu, sasaran dari industri rumah makan ini adalah masyarakat kelas ekonomi menengah ke bawah. Penentuan jenis pengolahan juga mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu:

- Karakteristik awal limbah
- Luas lahan
- Biaya operasional dan perawatan
- Ketersediaan tenaga ahli

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang ada pada bab 4 tabel 4.6 sebelumnya dapat disimpulkan bahwa industri rumah makan ini memerlukan konfigurasi sistem pengolahan fisik dan biologis, yaitu *grease trap* dengan penambah Bakteri *Rhodococcus erythropolis* PR4. Alasan pemilihan *grease trap* dan juga tambahan bakteri adalah efisiensi penurunan minyak dan lemak yang tinggi serta dipertimbangkan pula keunggulan serta kelemahan dari *grease trap* dan Bakteri *Rhodococcus erythropolis* yang terdapat pada tabel 4.7 dan 4.8. *Grease trap* merupakan sebuah unit pengolahan secara fisik. Tingginya konsentrasi minyak dan lemak dalam limbah dapat berkurang hingga 100%. Investasi awal yang diperlukan tidak terlalu besar, tidak membutuhkan energi yang besar dan tidak memerlukan lahan yang terlalu luas. Pengoperasian dan perawatan mudah sehingga tidak membutuhkan tenaga ahli. Tabel 5.3 merupakan hasil perencanaan effluen air limbah menggunakan *grease trap*:

**Tabel 5.3 Prediksi Karakteristik Effluen Minyak dan Lemak
Limbah Industri Rumah Makan X**

Parameter	Konsentrasi Influen(mg/l)	Penyisihan	Konsentrasi Effluen (mg/l)	Konsentrasi Maksimum (mg/l)
BOD ₅	620	97%	18,6	30
COD	988	96%	39,52	50
TSS	622	92%	49,76	50
Minyak dan Lemak	6971	99,7%	20,913	10
pH	5,95		7	6-9

5.2 Industri Penyulingan Pelumas Bekas

Industri penyulingan pelumas bekas yang akan menjadi pembahasan dalam studi kasus merupakan sebuah industri yang memproduksi pelumas dengan bahan utama berupa pelumas bekas. Industri ini terletak di Gempol, Pasuruan, Jawa Timur. Proses produksi dimulai dari penampungan pelumas bekas yang didapatkan dari pabrik pelumas lain yang telah terdaftar. Selanjutnya, proses pemisahan pelumas dari kandungan air melalui pemanasan. Pelumas yang telah terpisahkan akan diklasifikasikan berdasarkan fraksi pemisahannya. Tahapan terakhir adalah penambahan zat kimia sebagai pewarna maupun bau.

Limbah yang dihasilkan industri oli ini ada tiga jenis, yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah B3. Limbah padat berasal dari aktivitas kantor dan kantin, limbah cair proses pengolahan dan kamar mandi, serta limbah B3 berasal dari hasil pengolahan limbah maupun proses produksi. Industri oli ini memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang terdiri dari *Equalization Tank*, *Oil Coalescing Separator*, Koagulasi-flokulasi, *Dissolved Air Flotation*, *Neutralization tank*, *Aeration tank*, *Clarifier*, *Sand Filter*, *Activated Carbon* dan kolam ikan. Menurut Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 tahun 2013, baku mutu minyak dan lemak untuk industri penyulingan pelumas bekas adalah sebagai berikut:

Tabel 5.4 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Konsentrasi Maksimum (mg/L)
BOD ₅	50
COD	100
TSS	50
Sulfida (sebagai H ₂ S)	0,1
Minyak dan Lemak	5
NH ₃ -N (amonia total)	5
Phenol	0,5
pH	6 - 9

Limbah yang dibuang ke badan air sudah harus memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Namun, terkadang air limbah yang dibuang ke badan air melebihi baku mutu. Hal tersebut dapat dilihat dari pelumas yang mengapung di permukaan sungai serta munculnya minyak dan lemak di sumur warga. Karakteristik limbah yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.5 Karakteristik Effluen Limbah Industri Penyulingan Pelumas Bekas

Parameter	Konsentrasi (mg/l)
pH	6,9
BOD	17,1
COD	32,9
TSS	4
Minyak dan lemak	0

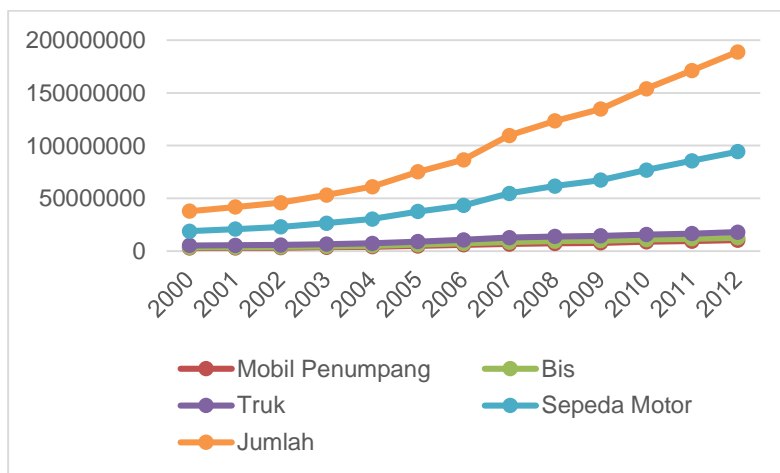
Sumber: (Nurdin and Su'udi, 2014)

Berdasarkan karakteristik limbah yang dihasilkan sudah memenuhi baku mutu yang ditetapkan namun terkadang ditemukan pelumas di badan air. Padahal effluen air limbah yang telah keluar dari WWTP melewati unit *grease trap* terlebih dahulu. Penyebab kemungkinan terjadinya hal tersebut adalah ketika pengoperasian *grease trap* memenuhi daya tampung sehingga pelumas dapat terbawa menuju badan air. Selain itu apabila tidak melakukan perawatan secara berkala juga memungkinkan terjadi hal tersebut. Walaupun intensitas kejadian itu kecil, hal tersebut dapat mencemari lingkungan. Lingkungan sekitar industri merupakan daerah persawahan sehingga apabila badan air

tercemar akan mencemari tumbuhan juga. Oleh karena itu, berdasarkan Tabel Rekapitulasi Pengolahan Minyak dan Lemak Limbah Industri perlu adanya tambahan konfigurasi sistem pengolahan pada *grease trap* agar dapat mencegah pencemaran badan air. Modifikasi dapat berupa penggantian unit *grease trap* yang mampu melakukan *self-cleaning* maupun dengan penambahan mikroorganisme di dalam *grease trap*. Kemampuan *self-cleaning* mampu mencegah lolosnya minyak dan lemak saat pembilasan. Namun, pergantian unit *grease trap* membutuhkan biaya yang besar. Apabila dilakukan penambahan mikroorganisme tidak membutuhkan biaya yang terlalu besar. Pengoperasian dan perawatan lebih kompleks untuk *grease trap* yang menggunakan aktivitas mikroorganisme dibanding dengan unit baru. Jenis mikroorganisme yang dapat digunakan adalah *Alcanivorax genus*, *Pseudomonas* dan *Rhodococcus*.

5.3 Industri Automobile

Industri *Automobile* merupakan salah satu industri yang sedang berkembang di Indonesia. Hal tersebut berbanding lurus dengan jumlah peningkatan jumlah kendaraan bermotor. Berikut adalah grafik perkembangan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mulai tahun 2000:



Gambar 5.2 Grafik Perkembangan Kendaraan Bermotor

Sumber: (Badan Pusat Statistik, 2014)

Limbah dari industri *automobile* ini memiliki karakteristik awal sebagai berikut:

Tabel 5.6 Karakteristik Limbah Industri *Automobile*

Parameter	Konsentrasi (mg/l)
TSS	55
COD	1400
Minyak dan lemak	19

Sumber: (Oliveira et al., 2008)

Industri ini telah memiliki pengolahan minyak dan lemak, yaitu menggunakan *Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor (AnSBBR)*. Namun, pengolahan minyak dan lemak membutuhkan modifikasi sebab apabila terjadi debit puncak hasil effluen tidak memenuhi baku mutu. Baku mutu bagi industri *Automobile* terdapat dalam (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, 2014) adalah sebagai berikut:

Tabel 5.7 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Konsentrasi Maksimum (mg/L)
TSS	200
COD	100
Minyak dan lemak	10

Industri *Automobile* ini memiliki lahan terbatas, sehingga pengolahan minyak dan lemak yang diperlukan adalah penambahan mikroorganisme. Mikroorganisme yang dimaksud adalah bakteri *Pseudomonas stutzeri*, karena bakteri tersebut mampu berkembang biak dengan cepat dan mampu memecah rantai minyak dan lemak hingga 54,14%. Selain itu, *Pseudomonas stutzeri* mampu mendegradasi sulfur (Oliveira et al., 2008).

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil kajian pustaka adalah:

1. Konfigurasi sistem pengolahan minyak dan lemak limbah industri yang ideal dapat berupa pengolahan fisik-biologis, pengolahan kimia-biologis dan pengolahan fisik-kimia. Konfigurasi sistem pengolahan fisik-biologis mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai dari 20 mg/l hingga 21600 mg/l, konfigurasi sistem pengolahan kimia-biologis mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai hingga 2680 mg/l, sedangkan konfigurasi sistem pengolahan fisik-kimia mampu mengolah influen minyak dan lemak mulai dari 26 mg/l hingga 15000 mg/l.
2. Berdasarkan studi kasus industri rumah makan, industri pelumas bekas dan industri *automobile* jenis pengolahan yang ideal adalah konfigurasi sistem pengolahan fisik-biologis, yaitu *grease trap* efisiensi 99,7% dan dengan tambahan mikroorganisme efisiensi 100% serta unit AnSBBR efisiensi 85% dengan penambahan mikroorganisme efisiensi 54,14%.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan adalah:

1. Perlu penambahan studi kasus pada industri yang belum beroperasi serta perencanaan unit pengolahan.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, S. R. H., Sebzari, M. R., Hemati, M., Rekabdar, F., Mohammadi, T. 2011. Ceramic Membrane Performance in Microfiltration of Oily Wastewater. *Desalination*, 265, 222–228.
- Abuzar, S. S., Afrianita, R., Notrilauvia, N. 2012. Penyisihan Minyak dan Lemak Limbah Cair Hotel Menggunakan Serbuk Kulit Jagung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 13–25.
- Ahmad, A. L., Sumathi, S., Hameed, B. H. 2006. Coagulation of Residue Oil and Suspended Solid in Palm Oil Mill Effluent by Chitosan, Alum and PAC. *Chemical Engineering Journal*, 118, 99–105.
- Ahmad, A., Yelmida, Irmawati, F. 2011. Penyisihan Minyak Lemak yang Terkandung dalam Limbah Cair Industri Minyak Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. In *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. Yogyakarta.
- Al Shamrani, A. A., James, A., Xiao, H. 2002. Separation of Oil From Water by Dissolved Air Flotation. *Colloids and Surfaces*, 209, 15–26.
- Ankyu, E., Noguchi, R. 2014. Economical Evaluation of Introducing Oil-water Separation Technology to Wastewater Treatment of Food Processing Factory based on Separation Engineering. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 67–73.
- Asha, M. N., Chandan, K. S., Harish, H. P., NikhileswarReddy, S., Sharath, K. S., Mini Liza, G. 2016. Recycling Of Waste Water Collected From Automobile Service Station. *Procedia Environmental Science*, 35, 289–297.
- Badan Pusat Statistik. 2014.
- Behnood, M., Nasemejad, B., Nikazar, M. 2014. Biodegradation of Crude Oil from Saline Waste Water Using White Rot Fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Journal of Industrial and Engineering*, 1–7.
- Cui, J., Zhang, X., Liu, H., Liu, S., Yeung, K. L. 2008. Preparation and Application of Zeolite/ceramic Microfiltration Membranes for Treatment of Oil Contaminated Water. *Journal of Membrane Science*, 325, 420–426.

- Daud, Z., Awang, H., Latif, A. A., Nasir, N., Ridzuan, M. B., Ahmad, Z. 2015. Suspended Solid, Color, COD and Oil and Grease Removal from Biodiesel Wastewater by Coagulation and Flocculation Processes. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2407–24011.
- Diez, V., Ramos, C., Cabezas, J. L. 2012. Treating Wastewater with High Oil and Grease Content Using An Anaerobic Membrane Bioreactor (AnMBR). Filtration and Cleaning Assays. *Water Science and Technology*, 65(10), 1847–1853.
- Fulazzaky, M. A., Abdullah, S., Salim, M. R. 2016. Supporting Data for Identification of Biosurfactant-Producing Bacteria Isolated from Agro-Food Industrial Effluent. *Data in Brief*, 7, 834–838.
- Garcha, S., Verma, N., Brar, S. K. 2016. Isolation, Characterization and Identification of Microorganisms From Unorganized Dairy Sector Wastewater and Sludge Samples and Evaluation of Their Biodegradability. *Water Resources and Industry*, 16, 19–28.
- Gunstone, F. D. 2004. *The Chemistry of Oils and Fats* (1st ed.). UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Gunstone, F. D. 2008. *Oils and Fats in the Food Industry* (First Edition). UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Gunstone, F. D., Hersolf, B. G. 2000. *Lipid Glossary* (2nd ed.). Bridgewater: The Oily Press.
- Hamid, N. S. A., Malek, N. A. C., Mokhtar, H., Mazlan, W. S., Tajuddin, R. M. 2015. Removal of Oil and Grease From Wastewater Using Natural Adsorbents. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 78, 97–102.
- Hardiana, S., Mukimin, A. 2014. Pengembangan Metode Analisis Parameter Minyak dan Lemak pada Contoh Uji Air, 1–6.
- Herlina, N., Ginting, M. H. S. 2002. Lemak dan Minak. *Jurnal Fakultas Teknik*.
- Hua, F. L., Tsang, Y. F., Wang, Y. J., Chan, S. Y., Chua, H., Sin, S. N. 2007. Performance Study of Ceramic Microfiltration Membrane for Oily Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 128, 169–171.
- Indriyati, Susanto, J. P. 2009. Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Ringan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 10(1), 85–89.
- Junaidi, Hatmanto, B. P. D. 2006. Analisis Teknologi Pengolahan Limbah Cair pada Industri Tekstil (Studi Kasus PT.

- Iskandar Indah Printing Textile Surakarta). *Jurnal Presipitasi*, 1(1).
- Ketaren, S. 1986. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan* (1st ed.). Jakarta: UI-Press.
- Khan, K., Naeem, M., Arshed, M., Asif, M. 2006. Extraction and Characterization of Oil Degrading Bacteria. *Journal of Applied Science*, 6, 2302–2306.
- Kis, A., Laczi, K., Zsiros, S., Rakhley, G., Perei, K. 2015. Biodegradation of Animal Fats and Vegetable Oils by *Rhodococcus erythropolis* PR4. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 105, 114–119.
- Li, C., Champagne, P., Anderson, B. C. 2013. Effects of Ultrasonic and Thermo-Chemical Pre-Treatments on Methane Production from Fat, Oil and Grease (FOG) and Synthetic Kitchen Waste (KW) in Anaerobic Co-Digestion. *Bioresource Technology*, 130, 187–197.
- Lugt, P. M. 2013. *Grease Lubrication in Rolling Bearings* (First Edition). John Wiley & Sons, Ltd.
- Metcalf and Eddy. 2014. *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery* (5th ed.).
- Mittal, P., Jana, S., Mohanty, K. 2011. Synthesis of Low-Cost Hydrophilic Ceramic–Polymeric Composite Membrane for Treatment of Oily Wastewater. *Desalination*, 282, 54–62.
- Mojarad, M., Alemzadeh, A., Ghoreishi, G., Javaheri, M. 2016. Kerosene Biodegradation Ability and Characterization of Bacteria Isolated from Oil-Polluted Soil and Water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 4323–4329.
- Nelson, D. L., Cox, M. M. 2005. *Lehninger Principles of Biochemistry* (Fourth Edition). W.H. Freeman.
- Ngili, Y. 2009. *Biokimia Struktur dan Fungsi Biomolekul* (1st ed.). Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nisola, G. M., Cho, E. S., Shon, H. K., Tian, D., Chun, D. J., Gwon, E. M., Chung, W. J. 2009. Cell Immobilized FOG-Trap System for Fat, Oil, and Grease Removal from Restaurant Wastewater. *Journal of Environmental Engineering*, 135, 876–884.
- Nugroho, A. 2006. Biodegradasi Sludge Minyak Bumi Dalam Skala Mikrokosmos: Simulasi Sederhana Sebagai Kajian Awal Bioremediasi Land Treatment. *Teknologi Makara*, 10, 82–89.

- Nurdin, F. A., Su'udi, M. 2014. *Evaluasi Kinerja Wastewater Treatment Plant di PT. ALP Petro Industry*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Oliveira, R. P., Ghilardi, J. A., Ratusznei, S. M., Rodrigues, J. A. D., Zaiat, M., Foresti, E. 2008. Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor Applied to Automobile Industry Wastewater Treatment: Volumetric Loading Rate and Feed Strategy Effects. *Chemical Engineering and Processing*, 47, 1374–1383.
- Painmanakul, P., Sastaravet, P., Lersjintanakarn, S., Khaodhiar, S. 2010. Effect of Bubble Hydrodynamic and Chemical Dosage on Treatment of Oily Wastewater by Induced Air Flotation (IAF) Process. *Chemical Engineering Research and Design*, 88, 693–702.
- Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. 2013.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah. 2014.
- Porwal, H. J., Mane, A. V., Velhal, S. G. 2015. Biodegradation of Dairy Effluent by Using Microbial Isolates Obtained from Activated Sludge. *Water Resources and Industry*, 9, 1–15.
- Rattanapan, C., Sawain, A., Suksaroj, T., Suksaroj, C. 2011. Enhanced Efficiency of Dissolved Air Flotation for Biodiesel Wastewater Treatment by Acidification and Coagulation Processes. *Desalination*, 280, 370–377.
- Safitri, L. 2016. *Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan Menggunakan Filtrasi Membran Sintesis Zeolit dan Kitosan untuk Menurunkan Konsentrasi TSS dan Zat Organik*. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sahubawa, L. 2011. Analisis dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Pabrik Pengalengan Ikan. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 18, 9–18.
- Salmariza, S., Sofyan. 2011. Aplikasi Metode MSL (Multi Soil Layering) untuk Mengolah Limbah Industri Edible Oil. *Jurnal Riset Industri*, 5(3), 227–238.
- Santisi, S., Capello, S., Catalfamo, M., Mancini, G., Hassanshahian, M., Genoverse, L., ... Yakimov, M. M. 2015. Biodegradation of Crude Oil by Individual Bacterial

- Strains and A Mixed Bacterial Consortium. *Brazilian Journal of Microbiology*, 46(2), 377–387.
- Sarfaraz, M. V., Ahmadpour, E., Salahi, A., Rekabdar, F., Mirza, B. 2012. Experimental Investigation and Modeling Hybrid Nano-Porous Membrane Process for Industrial Oily Wastewater Treatment, 90, 1642–1651.
- Song, C., Wang, T., Pan, Y., Qiu, J. 2006. Prepration of Coal-based Microfiltration Carbon Membrane and Application in Oily Wastewater. *Separation Purification Technology*, 51, 80–84.
- Suyasa, I. W. B., Arsa, I. M. 2013. Penurunan Konsentrasi Minyak dan COD Air Limbah Operasional Pembangkit Listrik dengan Flotasi dan Lumpur Aktif. *Jurnal Bumi Lestari*, 13(1), 98–105.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2014 Tentang Perindustrian. 2014.
- Yang, T., Ma, Z.-F., Yang, Q.-Y. 2011. Formation and Performance of Kaolin/MnO₂ Bi-layer Composite Dynamic Membrane for Oily Wastewater Treatment: Effect of Solution Conditions. *Desalination*, 270, 50–56.
- Zhao, X., Wang, Y., Ye, Z., Borthwick, A. G. L., Ni, J. 2006. Oil Field Wastewater Treatment in Biological Aerated Filter by Immobilized Microorganisms. *Process Biochemistry*, 41, 1475–1483.

-Halaman ini sengaja dikosongkan-

Lampiran A
Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Valencia Safir Maharani yang lahir di Surabaya pada tanggal 23 September 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal, yaitu TK Krisnamurti III Surabaya, SDN Kertajaya XII/218 Surabaya, SMPN 6 Surabaya, dan SMAN 5 Surabaya. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 di Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP

3313100045.

Selama perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) sebagai staf Kementerian Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) pada tahun 2014-2015 dan pada periode 2015-2016 sebagai asisten Direktorat Jenderal Pemetaan Kementerian PSDM. Penulis berpartisipasi aktif sebagai panitia di berbagai kegiatan HMTL, antara lain Environation pada tahun 2013 dan 2014, dan Hari Air pada tahun 2014. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan BEM ITS, antara lain Gerigi pada tahun 2014 dan 2015, dan ITS Expo pada tahun 2014 dan 2015. Selain itu penulis pernah menjadi asisten laboratorium Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan (TAPL) pada tahun 2014 dan Remediasi Badan Air dan Pesisir (RBAP) pada tahun 2017. Penulis juga pernah mengikuti kerja praktik di PT. ALP Petro Industry Gempol Kabupaten Pasuruan pada tahun 2016. Apabila ada kritik dan saran mengenai tugas akhir dari penulis, dapat dihubungi via email vsafirm@gmail.com.

